

---

# **DIPLOMARBEIT**

---

**Ing. Harald Gaulhofer**

**Ottomotor und Dieselmotor  
im Vergleich  
Mögliche Einsparungspotentiale**

Mittweida, 2015

---

# **DIPLOMARBEIT**

---

## **Ottomotor und Dieselmotor im Vergleich Mögliche Einsparungspotentiale**

Autor:

**Ing. Harald Gaulhofer**

Studiengang:

**Wirtschaftsingenieurwesen**

Seminargruppe:

**KW09wWA**

Erstprüfer:

**Prof. Dr. Dr. Hartmut Lindner**

Zweitprüfer:

**Prof. Dipl.-Ing. Josef M. Löffler**

Einreichung:

**Mittweida, 14.01.2015**

Verteidigung/Bewertung:

**Mittweida, 2015**

## **Bibliografische Beschreibung:**

Gaulhofer, Harald:

Ottomotor und Dieselmotor im Vergleich – Mögliche Einsparungspotentiale. -  
2015. – 84 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen,  
Diplomarbeit, 2015

## **Referat:**

Ziel der Diplomarbeit ist es, einen direkten Vergleich und mögliche Einsparung der beiden Antriebsarten „Ottomotor“ und „Dieselmotor“ aufzuzeigen.

In weiterer Folge soll ein direkter Vergleich der beiden Motorentypen in kostenrelevanten Bereichen erfolgen. Die Frage, welcher der beiden Motoren bezogen auf eine bestimmte Jahreskilometerleistung kostengünstiger ist, soll dadurch geklärt werden.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Verzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
2.1	Zentrale Problemstellung .....	1
2.2	Zielsetzung .....	1
2.3	Methodische Vorgehensweise .....	2
<b>3</b>	<b>Grundlagen .....</b>	<b>3</b>
3.1	Der Motor .....	3
3.1.1	Die Geschichte des Verbrennungskraftmotors .....	3
3.2	Ottomotor und Dieselmotor .....	4
3.2.1	Die Geschichte des Ottomotors .....	4
3.2.2	Die Geschichte des Dieselmotors .....	6
3.3	Wichtige Komponenten von Verbrennungsmotoren .....	9
3.3.1	Die Kurbelwelle .....	9
3.3.2	Die Nockenwelle .....	9
3.3.3	Die Pleuelstange .....	10
3.3.4	Die Einspritzdüse .....	11
3.3.5	Die Zündkerze .....	12
3.3.6	Der Kolben .....	12
3.3.7	Einlass- und Auslassventil .....	13
3.3.8	Die Ventilüberschneidung .....	14
3.3.9	Der Vergaser .....	15
3.4	Die Drehzahl .....	16
3.5	Das Drehmoment .....	17
<b>5</b>	<b>Aufbau .....</b>	<b>22</b>
5.1	Aufbau des Ottomotors .....	22
5.2	Aufbau des Dieselmotors .....	23
<b>6</b>	<b>Funktionsweise .....</b>	<b>25</b>
6.1	Funktionsweise des Dieselmotors .....	25
6.2	Funktionsweise des Ottomotors .....	26
6.3	Arbeitsverfahren .....	27
6.3.1	Vier-Takt Verfahren .....	27
6.3.2	Zwei-Takt Verfahren .....	28

6.4	Das Common Rail System .....	29
6.4.1	Aufbau .....	30
6.4.2	Arbeitsweise .....	30
6.4.3	Vorteile des Common Rail Systems .....	32
<b>7</b>	<b>Zylinderanordnungen im Motor .....</b>	<b>33</b>
7.1	R - Motor .....	33
7.2	V - Motor.....	33
7.3	VR - Motor .....	34
7.4	W - Motor.....	34
<b>8</b>	<b>Thermodynamische Grundlagen .....</b>	<b>35</b>
8.1	Der thermodynamische Kreisprozess.....	35
8.2	Carnot'scher Kreisprozess .....	35
8.3	Die Idealprozessrechnung.....	37
8.4	Indikatordiagramm.....	39
8.4.1	Ottomotor.....	39
8.4.2	Dieselmotor .....	40
8.5	Mittlerer Kolbendruck & Motorleistung.....	40
<b>9</b>	<b>Verbrennungsraumarten.....</b>	<b>42</b>
9.1	Verbrennungsraum beim Ottomotor .....	42
9.1.1	Ricardo - Brennraum .....	42
9.1.2	Kugel-Brennraum.....	42
9.1.3	Keil-Brennraum.....	43
9.2	Verbrennungsraum beim Dieselmotor.....	43
9.2.1	Gemischbildungsdauer .....	43
9.2.2	Systeme von Dieselmotoren .....	45
9.3	Klopffestigkeit und Zündwilligkeit.....	45
9.3.1	Verbrennung im Ottomotor .....	46
9.3.2	Verbrennung im Dieselmotor .....	46
<b>10</b>	<b>Kühlung von Verbrennungsmotoren.....</b>	<b>48</b>
<b>11</b>	<b>Schmierung von Verbrennungsmotoren.....</b>	<b>49</b>
<b>12</b>	<b>Der Kraftstoff .....</b>	<b>51</b>
12.1	Einflüsse und Wirkungen.....	51

---

12.2 Systeme zur Kraftstoffaufbereitung .....	51
12.2.1 Die Kraftstoffaufbereitung beim Ottomotor .....	52
12.2.2 Die Kraftstoffaufbereitung beim Dieselmotor .....	53
12.2.3 Unterschied Benzin - Diesel .....	53
<b>13 Gemischbildung .....</b>	<b>55</b>
13.1 Luftverhältnis .....	55
13.2 Verbrennungsverhältnis .....	56
<b>14 Vergleich Ottomotor – Dieselmotor .....</b>	<b>57</b>
14.1 Der verwendete Kraftstoff.....	57
14.2 Vorteile des Ottomotors (Benzinmotors) .....	59
14.3 Vorteile des Dieselmotors .....	60
14.4 Vergleichstabelle Ottomotor – Dieselmotor .....	60
14.5 Vergleichstabelle – Arbeitsweisen.....	63
14.6 Vergleichstabelle Benzinpreis – Dieselpreis.....	64
<b>15 Wartung / Wartungskosten.....</b>	<b>66</b>
15.1 Vergleich BMW – Diesel vs. Benziner .....	67
<b>16 Betriebskosten / laufende Kosten.....</b>	<b>71</b>
16.1 Ottomotor (Benzinmotor) .....	72
16.2 Dieselmotor .....	73
16.3 Berechnung der Kosten.....	74
16.3.1 Berechnungsgrundlagen.....	75
16.4 Kostenvergleich Diesel – Benziner .....	76
16.4.1 Jahresfahrleistung 15.000km.....	76
16.4.2 Jahresfahrleistung 30.000km.....	76
16.4.3 Jahresfahrleistung 50.000km.....	77
16.4.4 Gesamtübersicht Jahresfahrleistungen .....	77
<b>17 Die Nutzwertanalyse .....</b>	<b>79</b>
17.1 Definition .....	79
<b>18 Schluss .....</b>	<b>82</b>
18.1 Ergebnis / Zusammenfassung.....	82
18.2 Ausblick.....	83

# 1 Verzeichnis

## Abbildungsverzeichnis

Abb.1	Der erste Ottomotor .....	4
Abb.2	Ventiltriebanordnungen .....	6
Abb.3	Der erste Prototyp eines Dieselmotors .....	6
Abb.4	Erster PKW-Dieselmotor .....	8
Abb.5	Die Kurbelwelle .....	9
Abb.6	Die Nockenwelle .....	10
Abb.7	Die Pleuelstange .....	11
Abb.8	Die Einspritzdüse / Das Einspritzventil .....	11
Abb.9	Die Zündkerze .....	12
Abb.10	Der Kolben .....	13
Abb.11	Das Einlassventil (Der Einlasskanal) .....	14
Abb.12	Das Auslassventil (Der Auslasskanal) .....	14
Abb.13	Ventilüberschneidung .....	14
Abb.14	ZENITH Vergaser .....	16
Abb.15	Drehmomentverlauf BMW320i (Benzinmotor) .....	18
Abb.16	Drehmomentverlauf BMW320d (Dieselmotor) .....	18
Abb.17	Der Ottomotor von BMW .....	22
Abb.18	Der Dieselmotor von BMW .....	23
Abb.19	1. Takt (Ansaugtakt) .....	27
Abb.20	2. Takt (Verdichtungstakt) .....	27
Abb.21	3. Takt (Arbeitstakt) .....	28
Abb.22	4. Takt (Ausstoßtakt) .....	28
Abb.23	Der 2-Takt Motor .....	29
Abb.24	Hochdruckpumpe Common Rail .....	31
Abb.25	Piezo Injektor .....	31

Abb.26	R-Motor (schematische Darstellung) .....	33
Abb.27	V-Motor (schematische Darstellung) .....	33
Abb.28	VR-Motor (schematische Darstellung) .....	34
Abb.29	W-Motor (schematische Darstellung) .....	34
Abb.30	Thermodynamischer Kreisprozess .....	35
Abb.31	Carnot'scher Kreisprozess (T-s-Diagramm) .....	36
Abb.32	T-s-Diagramm: Ottomotor und Dieselmotor .....	36
Abb.33	p-V und T-s Diagramm Ottomotor .....	37
Abb.34	p-V und T-s Diagramm Dieselmotor .....	38
Abb.35	Indikatordiagramm Viertakt-Ottomotor .....	39
Abb.36	Indikatordiagramm Viertakt-Dieselmotor .....	40
Abb.37	Mittlerer Kolbendruck .....	40
Abb.38	Effektive Nutzleistung .....	41
Abb.39	Ricardo-Brennraum .....	42
Abb.40	Kugel-Brennraum .....	42
Abb.41	Keil-Brennraum .....	43
Abb.42	Gemischbildungsdauer Ottomotor .....	43
Abb.43	Gemischbildungsdauer Dieselmotor .....	44
Abb.44	Einspritzung des Dieselmotors .....	44
Abb.45	Indirekte Einspritzung .....	45
Abb.46	Direkte Einspritzung .....	45
Abb.47	Klopffestigkeit vs. Zündwilligkeit .....	45
Abb.48	Motor – Schmierung .....	50
Abb.49	Kraftstoffaufbereitungssysteme .....	51
Abb.50	Einfluss des Kraftstoff-Luft-Gemisches auf die Schadstoffemission .....	52
Abb.51	Drosselklappe .....	55
Abb.52	Siedekurve des Ottokraftstoffes .....	58
Abb.53	Siedekurve des Dieseldkraftstoffes .....	59
Abb.54	Preisverlauf Benzin und Diesel .....	65
Abb.55	BMW320i (Baujahr 2013) .....	72
Abb.56	BMW320d (Baujahr 2013) .....	73



---

Abb.57	Kostenvergleich Jahresfahrleistung 15.000km .....	76
Abb.58	Kostenvergleich Jahresfahrleistung 30.000km .....	76
Abb.59	Kostenvergleich Jahresfahrleistung 50.000km .....	77
Abb.60	Kostenvergleich – Gesamtübersicht .....	77
Abb.61	Ablauf der Nutzwertanalyse .....	80

## Formelzeichenverzeichnis

$C_m$	[m/s]	mittlere Kolbengeschwindigkeit
$s$	[mm]	Kolbenhub
$\pi$	-	Pi
$D$	[mm]	Durchmesser
$n$	[min <sup>-1</sup> ]	Drehzahl
$\varepsilon$	-	Verdichtungsverhältnis
$V_{\max}$	[cm <sup>3</sup> ]	maximales Zylindervolumen
$V_C$	[cm <sup>3</sup> ]	Kompressionsvolumen
$V_h$	[cm <sup>3</sup> ]	Hubvolumen
$P_e$	[kW]	effektive Motorleistung
$p_e$	[bar]	effektiver Mitteldruck
$\eta_e$	-	effektiver Wirkungsgrad
$W_e$	Nm	Nutzleistung
$Q_B$	[J]	zugeführte Brennstoffmenge
$\eta_{th}$	-	thermodynamischer Verdichtungsverhältnis
$dU$	-	innere Energie
$dH$	-	Enthalpie
$S$	[kJ/K]	Entropie
$a$	-	Taktzahl
$p$	[bar]	Druck
$V$	[cm <sup>3</sup> ]	Volumen
$m$	[kg]	Masse
$T$	[K, °C]	absolute Temperatur
$Z$	-	Zylinderanzahl
$\varphi$	[Grad]	Kurbelwinkel
$Z_K$	[cm]	Kolbenweg
$F$	[N]	Gewichtskraft

A	[mm <sup>2</sup> ]	Fläche
W	[Nm]	Arbeit
Lambda	-	Luftverhältnis zur Berechnung der inneren Energie

## Abkürzungsverzeichnis

m	Meter
km	Kilometer
cm <sup>2</sup>	Quadratcentimeter
cm <sup>3</sup>	Kubikcentimeter
dm <sup>3</sup>	Kubikdezimeter
kg	Kilogramm
kW	Kilowatt
°C	Grad Celsius
%	Prozent
>	größer
<	kleiner
€	Euro
DIN	Norm
PKW	Personenkraftwagen
ROZ	Research-Oktan-Zahl
CZ	Cetanzahl
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
CO	Kohlenstoff
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	Kohlenwasserstoff
PS	Pferdestärke
OT	oberer Totpunkt
UT	unterer Totpunkt
kJ	Kilojoule
Es	Einlass schließt
Eö	Einlass öffnet
As	Auslass schließt
Aö	Auslass öffnet

## 2 Einleitung

### 2.1 Zentrale Problemstellung

Schon seit langem scheiden sich die Geister, wenn es um die Frage geht, welche Antriebsart auf eine bestimmte Laufleistung gesehen kostengünstiger ist – *Ottomotor* oder *Dieselmotor*.

Die pauschale Aussage, dass beispielsweise ein Dieselmotor in punkto Verbrauch weitaus kostengünstiger ist als ein Ottomotor, ist schon seit Einführung der neuen *direkteinspritzenden Turbomotoren* teilweise überholt. Vor allem die Tatsache, dass es in den letzten Jahren zu einer preislichen Annäherung zwischen Otto- (95ROZ) und Dieselmotorkraftstoff gekommen ist, widerlegt des Weiteren diese Aussage.

Mit Hilfe einer Analyse zweier Fahrzeugmodelle mit Otto- bzw. Dieselmotor eines namhaften Automobilherstellers soll ein Kostenvergleich für unterschiedliche Jahresfahrleistungen erfolgen.

Eine wesentliche Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit besteht darin, die beiden Antriebsarten (Otto- und Dieselmotor) direkt miteinander zu vergleichen, in *kostenrelevanten Bereichen* direkt gegenüber zu stellen und abschließend eine generelle Aussage zu tätigen, welche Antriebsart die effizientere ist.

### 2.2 Zielsetzung

Das primäre Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die beiden Antriebsarten *Ottomotor* und *Dieselmotor* in erster Linie genauer zu beschreiben und zu analysieren. Wie bereits erwähnt, sollen auch kostenrelevante Unterschiede untersucht werden. Im Rahmen dieser Betrachtung wird auch mittels einer *Nutzwertanalyse* eine objektive Entscheidung zwischen Otto- bzw. Dieselmotor getroffen.

## **2.3 Methodische Vorgehensweise**

Die Diplomarbeit gliedert sich in einen theoretischen Teil und in einen praktischen Teil. Im theoretischen Teil werden die Grundlagen der beiden Antriebsarten Ottomotor und Dieselmotor wie beispielsweise ihr geschichtlicher Hintergrund, eine allgemeine Beschreibung des Otto- bzw. Dieselmotors, ihre Entwicklungsstufen, ihre Funktionsweise und eine Beschreibung der wichtigsten Bauteile (Komponenten) dargestellt.

Im praxisbezogenen Teil dieser Diplomarbeit werden die Wartungs- und Betriebskosten des Otto- und Dieselmotors genauer untersucht und miteinander verglichen. Zusätzlich wird auch eine so genannte *Nutzwertanalyse* anhand eines bestimmten Beispiels erstellt.

Des Weiteren befasst sich dieser Teil auch mit realitätsnahen Verbräuchen.

## 3 Grundlagen

### 3.1 Der Motor

#### 3.1.1 Die Geschichte des Verbrennungskraftmotors

Vereinfacht ausgedrückt bietet ein Motor die Möglichkeit verschiedene Energien in Bewegungsenergien umzuwandeln. In weiterer Weise kann diese dann als Antrieb genutzt werden. Dabei kann es sich sowohl um elektrische, chemische als auch thermische Energien handeln. Verbrennungskraftmotoren haben in der Regel eine Kurbelwelle, mit der anschließend ein Getriebe betrieben werden kann.

Aufzeichnungen zufolge, soll den ersten Antriebsmotor für ein Automobil der *Kaiser von China im 17. Jahrhundert* besessen haben. Dieser wurde Dampfmotor genannt.

Offiziell gilt jedoch der Franzose *Nicholaus Cugnot* als Erbauer des ersten Fahrzeuges mit eigenem Antrieb (ebenfalls mittels Dampf) im Jahre *1769 in Paris*.<sup>1</sup>

Neben den am häufigsten verwendeten Motoren, dem *Otto- und den Dieselmotor* wurden jedoch auch andere Arten von Motoren entwickelt und gebaut.

Eine besondere Form des Verbrennungsmotors entstand Anfang der 50er Jahre. *Felix Wankel* erfand den gleichnamigen *Wankelmotor*, der komplett auf die Hubkolbenwirkung verzichtet. Beim *Wankelmotor* handelt es sich um einen *Kreiskolbenmotor*, welcher ebenfalls nach dem Viertakt-Ottomotor-Prinzip arbeitet. *1957* wurde der *Wankelmotor* erstmals im R080 von Audi verbaut. Zu den Vorteilen des *Wankelmotors* zählen u. a. die kompakte Baugröße, der ruhige Motorlauf und der Massenausgleich. Zu den Nachteilen zählen die schlechten Abgaswerte, der hohe Ölverbrauch und der ebenfalls hohe Kraftstoffverbrauch.

---

<sup>1</sup> Vgl. <http://www.meine-auto.info/historien/geschichte-des-motors.html>

Eine weitere Art des Verbrennungsmotors ist der so genannte *Boxermotor*. Dieser wurde bereits im Jahre 1896 vom Deutschen *Carl Benz* erfunden. Aufgrund konstruktiver Änderungen wurden die Schwingungen und die Beanspruchung der mechanischen Bestandteile dadurch stark reduziert.<sup>2</sup>

## 3.2 Ottomotor und Dieselmotor

### 3.2.1 Die Geschichte des Ottomotors

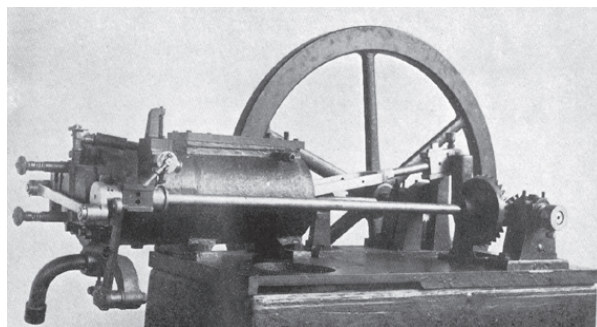


Abb.1: Der erste Ottomotor

Der Ottomotor wurde 1862 vom Ingenieur *Nikolaus August Otto* entwickelt. Aufgrund dieser Tatsache trägt der Motor auch heute noch seinen Namen. Das Prinzip bestand darin, dass Kraftstoff gemeinsam mit Luft angesaugt wird und im Zylinder ein zündfähiges Gemisch erzeugt. Über eine aktive Zündvorrichtung wurde der Motor dann mittels einem Zündfunken der Zündkerze in Gang gesetzt. Zu Beginn bestand jedoch die größte Problematik darin, dass dieser Verbrennungsmotor viel zu groß war, um als Antrieb für ein Fahrzeug zu dienen. Erst den beiden deutschen *Gottlieb Daimler* und *Carl Friedrich Benz* gelang es dieses Größenproblem zu lösen. *Nikolaus August Otto* war zudem auch noch maßgeblich am *Prinzip des Viertaktes* mit beteiligt. Die ersten Entwicklungen in punkto *Gasmotor* gehen jedoch auf das Konto des Erfinders *Étienne Lenoir* zurück, nachdem das sogenannte *Zweitaktprinzip* betrieben wurde.

---

<sup>2</sup> Vgl. <http://www.meine-auto.info/historien/geschichte-des-motors.html>



Otto verbesserte jedoch diese Art des Motors und baute diesen auf den Betrieb mit flüssigen Kraftstoffen um.<sup>3</sup>

1864 gründete er zusammen mit *Eugen Langen* die erste Motorenfabrik der Welt in Köln. Aus dieser wurde acht Jahre später die *Gasmotorenfabrik DEUTZ AG* in der auch *Gottlieb Daimler* und *Wilhelm Maybach* später arbeiten sollten. Dadurch wurde der Ottomotor erst richtig bekannt. Da die Funktionsweise im Großen und Ganzen relativ einfach war wurde der Ottomotor von vielen Fabriken nachgebaut.

Bis ins Jahr 1876 entwickelte *Nikolaus August Otto* auf Basis des Zweitaktmotors einen Motor mit separaten Verdichtungstakt und einer eigenen Ventilsteuerung.

Dieser Viertaktmotor wurde damals noch mit Leuchtgas betrieben und wies bei 180 Umdrehungen pro Minute eine Leistung von rund 3 PS auf. Dieser hatte jedoch mit dem heutigen Viertakt-Ottomotoren nichts gemeinsam. Insgesamt wurden aber über 5000 dieser „Otto engines“ gefertigt.

1877 ließ sich *Nikolaus August Otto* seine Erfindung patentieren, jedoch wurde ihm dieses einige Jahre später wieder entzogen.<sup>4</sup>

Sehr schnell entwickelte sich der Ottomotor weiter und ebenfalls die notwendigen zusätzlichen Bauteile wie beispielsweise der *Vergaser*, *Ventile*, *Kolben* und die *Zündanlage* wurden in diesem Zuge stetig weiterentwickelt. Auf Grund dieser Tatsache konnten auch schnell *Ottomotoren mit über 100 PS* entwickelt werden.

Mit der Zeit wurden immer bessere und vor allem auch zuverlässigere Typen des Ottomotors gebaut. Durch den Einbau von mehreren Zylindern wurde auch dem ruckartigen Lauf des Ottomotors entgegengewirkt und der Ottomotor wurde dadurch immer laufruhiger.

In den folgenden Jahren kamen immer mehr Modelle auf den Markt. Zu diesen Modellen zählen u. a. der *SV-Motor* (side valve – seitliche Ventile), der *OHV-Motor* (overhead valves – nur obenliegende Ventile), *CIH-Motoren*

---

<sup>3</sup> Vgl. <http://motoren-technik.net/ottomotor/>

<sup>4</sup> Vgl. [http://www.helpster.de/4-takt-ottomotor-informatives\\_180687#anleitung](http://www.helpster.de/4-takt-ottomotor-informatives_180687#anleitung)

(camshaft in head – im Kopf liegende Nockenwelle) und auch der *OHC-Motor* (overhead camshaft – obenliegende Nockenwelle)<sup>5</sup>.

Bis heute wurde der Zweitaktmotor nicht wesentlich weiterentwickelt und gilt bis dato als eine der größten Umweltsünden. Generell kommen heutzutage bei Ottomotoren *Katalysatoren* im Auspuff zum Einsatz um die Emissionen bestmöglich zu verringern.<sup>6</sup>

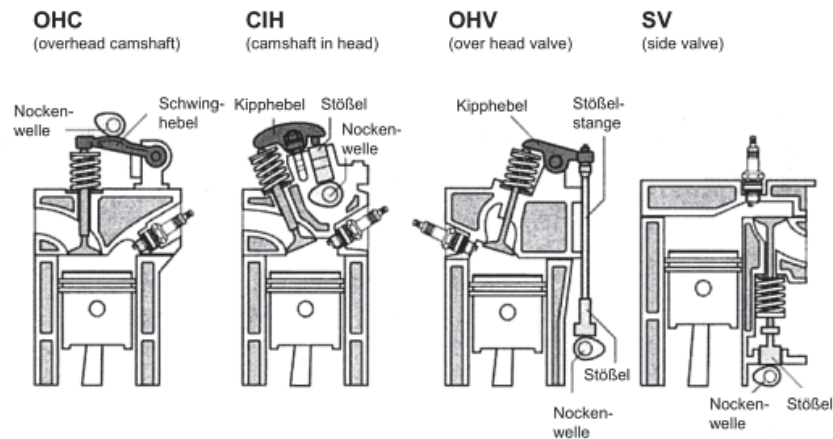


Abb.2: Ventiltriebanordnungen

### 3.2.2 Die Geschichte des Dieselmotors

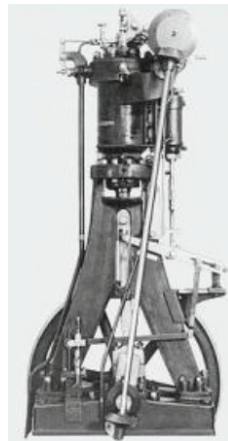


Abb.3: Der erste Prototyp eines Dieselmotors

<sup>5</sup> Vgl. Eifler/Schlücker/Spicher/Will: Küttner Kolbenmaschinen – Kolbenpumpen, Kolbenverdichter, Brennkraftmaschinen, 7. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Teubner, 2009, S.241 ff

<sup>6</sup> Vgl. [http://www.ape-erlebnisse.de/pdf\\_dateien/verschiedenes/verschiedenes\\_geschichte\\_motoren.pdf](http://www.ape-erlebnisse.de/pdf_dateien/verschiedenes/verschiedenes_geschichte_motoren.pdf)

1892 gelang dem Deutschen *Rudolf Diesel* die revolutionäre Erfindung des *Dieselmotors*, welche die Antriebstechnik weltweit entscheidend verändern sollte. Der Grundgedanke dahinter war es, dass sich das Gemisch aus Kraftstoff und Verbrennungsluft selbst entzünden sollte, *ohne aktive Zündvorrichtung*. In enger Zusammenarbeit mit der *Maschinenfabrik MAN* baute *Rudolf Diesel* im Jahre 1897 den ersten Prototypen eines Verbrennungsmotors welcher mit billigem Schweröl betrieben werden konnte. Dieser Prototyp hatte jedoch ein großes Manko. Er wog 4,5 Tonnen und hatte eine Höhe von circa drei Metern weshalb es auch unmöglich war diesen in der Fahrzeugtechnik zu verwenden.<sup>7</sup> Nach vielen Verbesserungen in punkto Einspritzung und Gemischbildung gab es in den Bereichen Schiffs- und Stationärmotoren keine Alternativen zum Dieselmotor mehr.

Der erste Dieselmotor aus dem Jahre 1897 arbeitete mit Drucklufteinblasung, bei der mit Hilfe von Druckluft Kraftstoff in den Zylinder gebracht wurde, da *Rudolf Diesel* nicht die Möglichkeit hatte die erforderlichen Drücke so zu verdichten wie es nötig gewesen wäre.

*Ende der 1920er* Jahre war es dann endlich möglich, nach einigen Modifikationen den Dieselmotor auch in Nutzfahrzeuge zu verbauen. Im Jahre 1923 gelang es anschließend auch den ersten Dieselmotor in einen Fünftonner-Lkw zu integrieren. Der Kraftstoffverbrauch war im Vergleich um 25% niedriger und der verwendete Kraftstoff zu dieser Zeit war Braunkohlenteeröl. 1927 wurde ein erster Prototyp für die Automobilindustrie entwickelt jedoch erst im Jahre 1936 wurde das erste Auto mit einem Dieselmotor in Betrieb genommen. Gesetzliche Auflagen waren für diese Verzögerung ausschlaggebend. Im Laufe der Zeit wurden die Dieselmotoren stetig weiterentwickelt und aus diesem Grunde wurden diese auch immer leistungsfähiger. Die ersten Typen hatten damals eine Leistung von rund *40 bis 60 PS* und waren Vierzylinderaggregate. 1932 waren dann bereits *140 PS* möglich. In diesem Jahr schaffte der Dieselmotor auch den Durchbruch im Bereich der Nutzfahrzeuge. Bis heute hat

---

<sup>7</sup> Vgl. Konrad Reif: Dieselmotor-Management - Systeme, Komponenten, Steuerung und Regelung, 5. Auflage, Ravensburg, Springer Vieweg, 2012, S.14ff

der Dieselmotor diese Vormachtstellung aufgrund seiner Wirtschaftlichkeit beibehalten.

In einem PKW gab es den Dieselmotor erstmalig im Jahre 1936. Dies war ein Vierzylinder Dieselmotor und hatte 45 PS.

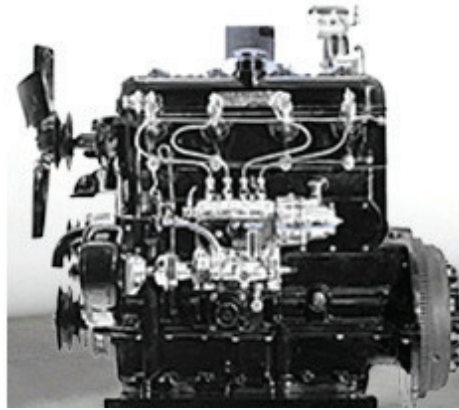


Abb.4: Erster PKW-Dieselmotor

Der Dieselmotor galt lange Zeit im Vergleich zum Ottomotor als „zu lahm“. Erst in den 1990er Jahren änderte sich dies durch der Entwicklung der *Abgasturboaufladung* und von neuen *Hochdruck-Einspritzsystemen*.

Mittlerweile wird der Dieselmotor im Vergleich mit dem Ottomotor als gleichwertig angesehen und in Europa ist aktuell rund jeder zweite angemeldete PKW ein Diesel.<sup>8</sup>

In den ganzen Jahren seit 1897 war auch stetig die Weiterentwicklung der Einspritztechnik von großer Bedeutung. Zu Beginn wurde diese vor allem durch *Robert Bosch* vorangetrieben. Zunächst wurden die verschiedensten Einspritzpumpen erprobt. Ende 1926 entstand die erste serienreife Bosch-Dieseleinspritzpumpe. Der einfache und klare Aufbau ermöglichte ein einfaches Zusammensetzen und Prüfen dieser Einspritzpumpe.

Parallel zur Pumpenentwicklung wurden auch die notwendigen *Düsenhalter* und *Einspritzdüsen* dazu entwickelt. Je nach Größe der Pumpe wurden die jeweils benötigten Düsenhalter und Einspritzdüsen dahingehend angepasst.

<sup>8</sup> Vgl. Konrad Reif: Dieselmotor-Management - Systeme, Komponenten, Steuerung und Regelung, 5. Auflage, Ravensburg, Springer Vieweg, 2012, S.14ff

Im Gegensatz zum Ottomotor wurde hierbei zusätzlich auch noch ein *Regler* beim Dieselmotor benötigt, da dieser nicht selbstregelnd ist. Dieser Regler wird einerseits zum Aufrechterhalten einer bestimmten Drehzahl und andererseits auch zum Schutz vor dem Überdrehen benötigt.<sup>9</sup>

Generell kann festgehalten werden, dass *Bosch* einen großen Anteil daran hat, dass sich der Dieselmotor zu dem entwickeln konnte, was er heute darstellt.

### 3.3 Wichtige Komponenten von Verbrennungsmotoren

#### 3.3.1 Die Kurbelwelle

Bei Verbrennungsmotoren wandelt die *Kurbelwelle* die hin und her Bewegungen der Kolben über die Pleuelstange in Drehbewegungen (Momente) um. Aufgrund der hohen Beanspruchungen und der hohen systemeigenen Schwingungen muss die Kurbelwelle dafür dementsprechend ausgelegt sein. Sie muss während des Betriebes sowohl *Biege- als auch Torsionsbelastung* ertragen können.

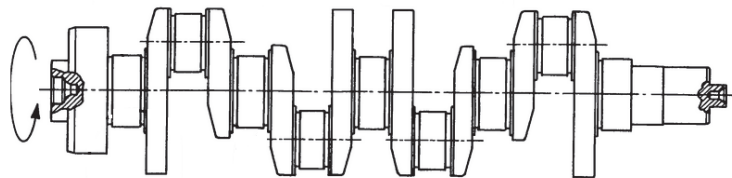


Abb.5: Die Kurbelwelle

#### 3.3.2 Die Nockenwelle

Die *Nockenwellen* dienen bei Verbrennungsmotoren zur Steuerung des Gaswechsels. Es kann entweder eine gemeinsame Nockenwelle für das Ein- und Auslassventil oder jeweils eine eigene Nockenwelle verbaut werden. Man kann bei der Anordnung zwischen der unten liegenden, der oben liegenden und einer zentral liegenden Nockenwelle unterscheiden. Die Anzahl der

<sup>9</sup> Vgl. Konrad Reif: Dieselmotor-Management - Systeme, Komponenten, Steuerung und Regelung, 5. Auflage, Ravensburg, Springer Vieweg, 2012, S.23

Nockenwellen wird in erster Linie durch die Anzahl der Ventile bestimmt. Der Antrieb der Nockenwelle erfolgt üblicherweise mittels Zahnriemen, Ketten oder Stirnräder. Nockenwellenlager werden im Allgemeinen als Gleitlager ausgeführt.<sup>10</sup>

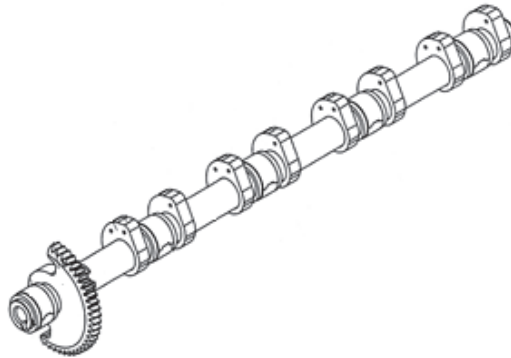


Abb.6: Die Nockenwelle

### 3.3.3 Die Pleuelstange

Die *Pleuelstange* stellt bei einem Hubkolbenmotor die direkte Verbindung zwischen den Kolben und Kurbelwelle dar. Über die Pleuelstange wird die oszillierende Bewegung des Kolbens in eine rotierende Bewegung der Kurbelwelle umgewandelt. Die konstruktive Gestaltung und das Gewicht beeinflussen direkt die Laufruhe und die Leistung des Motors. Die Pleuelstange besteht aus einem Kolbenbolzenauge, das die Anbindung an den Kolben zur Funktion hat und einem Kurbelwellenauge, das die Anbindung an die Kurbelwelle zur Aufgabe hat.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.686 ff

<sup>11</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.820 ff



Abb.7: Die Pleuelstange

### 3.3.4 Die Einspritzdüse

Die *Einspritzdüse* bzw. *Einspritzventile* dienen der zeit- und mengengesteuerten Zumessung von Kraftstoff.

Beim Dieselmotor sind sie in einem Düsenhalter bzw. Injektor montiert und sorgen für das Zumessen des Kraftstoffs nach einem definierten Timing in den Brennraum, zur Zerstäubung des Kraftstoffs, zur Formung des Einspritzverlaufs und zum Abdichten des Brennraums. Beim Ottomotor wird zwischen *Direkt- und Saugrohreinspritzung* unterschieden. Die Einspritzdüse stellt die Schnittstelle zum Brennraum dar. Sie hat zur Aufgabe den Kraftstoff genau zu dosieren und die Gemischaufbereitung in der zur Verfügung stehenden Zeit zu gewährleisten.<sup>12</sup>

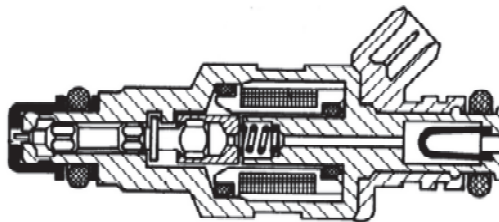


Abb.8: Die Einspritzdüse / Das Einspritzventil

<sup>12</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.114 ff

### 3.3.5 Die Zündkerze

Die *Zündkerze* besitzt Elektroden, mit denen der Zündfunke im Brennraum des Ottomotors erzeugt wird. Um die notwendige Gemischfremdzündung zu erreichen, gibt diese, die vom Zündsystem gelieferte elektrische Energie gleich lokal an das Luft-Kraftstoff-Gemisch ab. Die Zündkerze muss gegen Temperatur- und Alterungseinflüsse stabil sein und muss das Gemisch zuverlässig bei allen Betriebsbedingungen entflammen. Der im Brennraum befindliche Bereich der Zündkerze muss rasch die Selbstreinigungstemperatur (200°C) erreichen und darf eine Spitzentemperatur von ungefähr 850°C nicht überschreiten.<sup>13</sup>

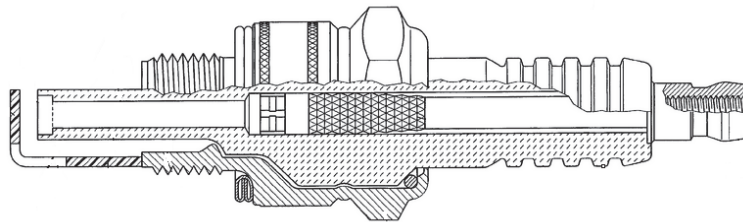


Abb.9: Die Zündkerze

### 3.3.6 Der Kolben

Der *Kolben* hat die Aufgabe, thermische Energie in mechanische Energie umzuwandeln und ist das erste Glied in der Kraftübertragungskette einer Kolbenkraftmaschine. Des Weiteren muss er mit seinen Dichtungselementen (Kolbenringe) den Verbrennungsraum gegen das Kurbelgehäuse abdichten und die entstandene Wärme an das Kühlmittel und die Zylinderwand weiterleiten. Zu den wesentlichen Teilen des Kolbens zählen der Kolbenboden, die Ringpartie mit Feuersteg, die Bolzennabe, der Schaft, die Kolbenringe, der Kolbenbolzen und die Bolzensicherungen.

<sup>13</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.309 ff



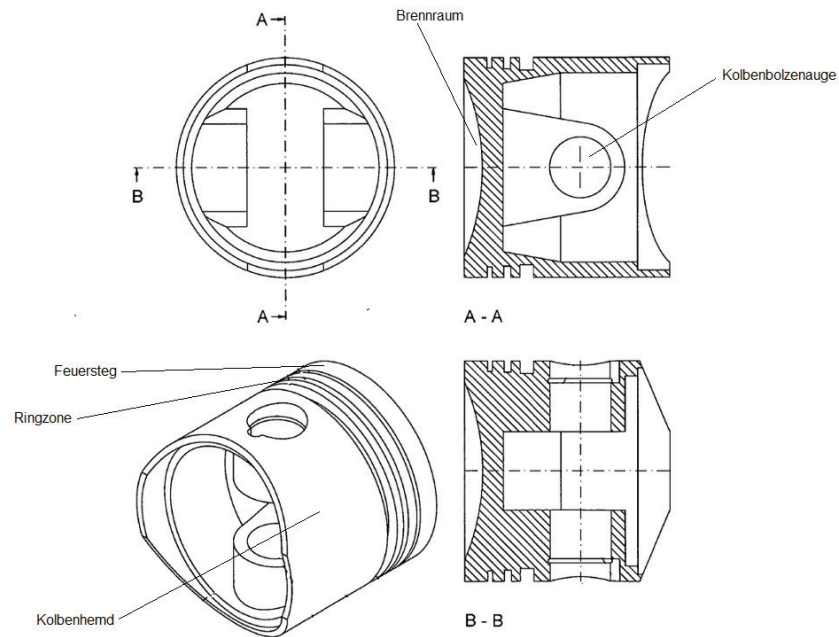


Abb.10: Der Kolben

### 3.3.7 Einlass- und Auslassventil

Das *Einlassventil* gibt den Ansaugkanal im Zylinderkopf zum Brennraum hin frei, damit die Luft bzw. das Gemisch in den Brennraum strömen kann. Aufgrund der geringeren Temperaturen von Luft und Gemisch im Vergleich zum Abgas führt dies dazu, dass das Einlassventil geringer thermisch belastet wird als das Auslassventil.

Das *Auslassventil* gibt den Auslasskanal zum Ausschleusen der verbrannten Gase nach dem Ende des Expansionstaktes frei. Auslassventile sind hohen Temperaturen und korrosiven Einflüssen ausgesetzt. Sie werden oft hohl ausgeführt um die Wärmeabfuhr zu verbessern und zusätzlich auch mit Natrium befüllt. Dieses führt im flüssigen Zustand Wärme vom Ventilteller zum Schaft hin mittels einer oszillierenden Bewegung ab.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Vgl. Hans-Hermann Braess / Ulrich Seifert: Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 1. Auflage, Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2000, S.138 ff

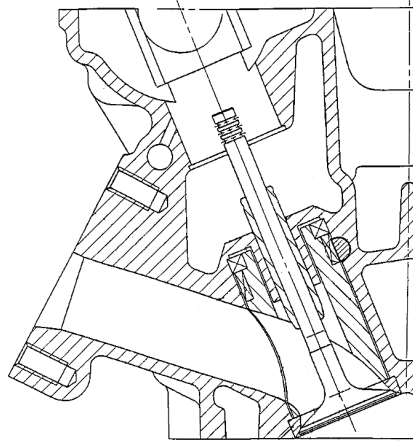


Abb.11: Das Einlassventil (Der Einlasskanal)

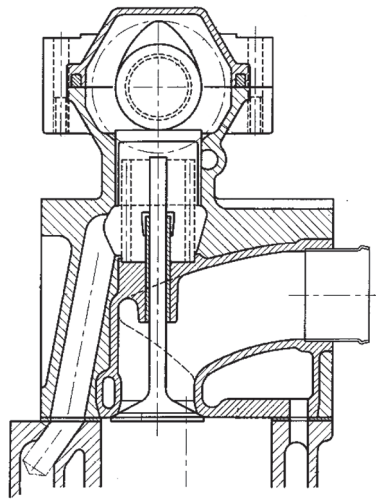


Abb.12: Das Auslassventil (Der Auslasskanal)

### 3.3.8 Die Ventilüberschneidung

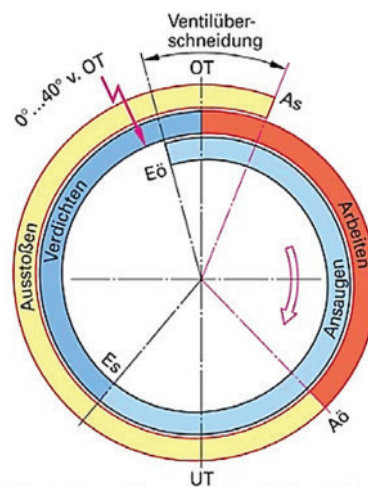


Abb.13: Ventilüberschneidung

Die Summe der Winkel von dem Öffnen des Einlassventils vor dem oberen Totpunkt und dem Schließen des Auslassventils nach dem unteren Totpunkt wird als sogenannte Ventilüberschneidung bezeichnet. Je höher die Drehzahl des Motors ist, desto größer muss auch die Ventilüberschneidung sein. Zu dem Zeitpunkt wenn sich der Kolben zwischen dem Ausstoßtakt und dem Ansaugtakt am oberen Totpunkt befindet sind beide Ventile offen. Frischgas und Abgas können nun ihre Bewegungsenergien austauschen. Das Altgas kann den Zylinder so fast vollständig verlassen und Frischgas kann dadurch besser nachgefüllt werden. Optimal funktioniert dies im Drehzahlbereich des höchsten Drehmoments. Die Ventilüberschneidung kann mittels verstellbarer Nockenwellen an die verschiedenen Drehzahlbereiche angepasst werden.<sup>15</sup>

### 3.3.9 Der Vergaser

Die Aufgabe des *Vergasers* besteht beim Ottomotor (Benzinmotor) darin, der vom Ottomotor angesaugten Luft, den für das gewünschte Mischungsverhältnis benötigten Kraftstoff hinzuzugeben. Ebenfalls im Vergaser befindet sich die der Einstellung des angesaugten Luftstroms dienende Drosselklappe. Vergaser arbeiten passiv, d. h. ohne Fremdantrieb. Die für den Vergaser benötigte Energie wird dem Luftstrom entnommen. Ein Vergaser hat meist einen Kraftstoffspeicher (Schwimmerkammer) mit einer freien Kraftstoffoberfläche. Der darüber befindliche Raum ist mittels einer Belüftung (Schwimmerkammerbelüftung) mit dem Einlauf verbunden. Man unterscheidet u. a. Einfachvergaser, Festlufttrichtervergaser, Doppelvergaser, Registervergaser, etc.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Vgl. Alfred Böge / Wolfgang Böge: Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 22.Auflage, Wolfenbüttel, Springer Vieweg, 2015, S.58ff

<sup>16</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.988 ff

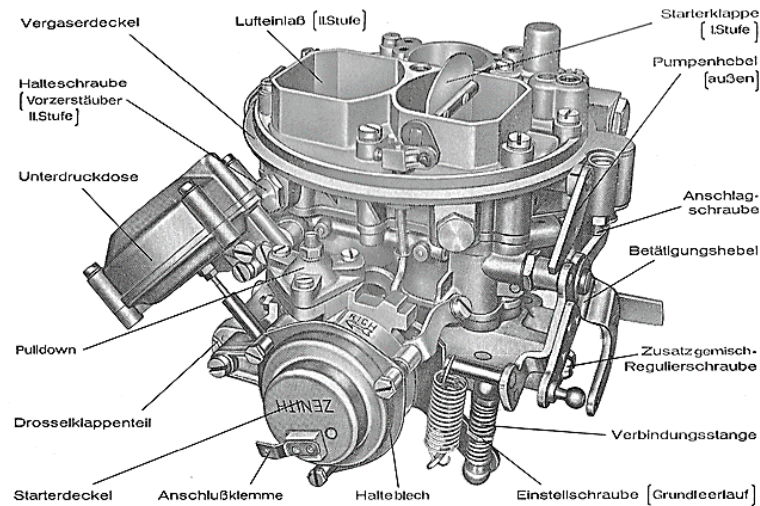


Abb.14: ZENITH Vergaser

### 3.4 Die Drehzahl

Unter der *Drehzahl*  $n$  versteht man die Anzahl an vollständigen Umdrehungen der Kurbelwelle pro Minute. Sie bestimmt direkt das Hubvolumen, den effektiven Mitteldruck und auch die Leistung des Motors. Es gilt, je höher die Drehzahl ist umso höher ist auch die Leistung bei sonst gleichen Bedingungen. Aus Gründen wie beispielsweise Verbrauch, Lärm und Kosten wird die Drehzahl jedoch serienmäßig begrenzt. Bei Ottomotoren (Benzinmotoren) beträgt die maximale Drehzahl circa *6000 Umdrehungen* pro Minute. Bei Dieselmotoren mit Direkteinspritzung beträgt diese beispielsweise im Vergleich circa *4500 Umdrehungen* pro Minute. Diese Begrenzung kommt u. a. von den verfügbaren Einspritzsystemen und der Dauer der Kraftstoffumsetzung. Die höchsten Drehzahlen findet man im Motorsport wo sie bei ungefähr *19.000 Umdrehungen* pro Minute liegen. Unbedingt notwendig ist die Messung der Drehzahl für die Motorsteuerung.<sup>17</sup>

$$n = \frac{\text{Anzahl Umdrehungen Kurbelwelle}}{\text{Zeit}}$$

<sup>17</sup> Vgl. Hermann Henn/Gh. Reza Sinambari/Manfred Fallen: Ingenieurakustik – Physikalische Grundlagen und Anwendungsbeispiele, 4. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2008, S.411ff

Generell unterteilen sich Verbrennungsmotoren in drei Drehzahlbereiche:

- Schnellaufende (Klein-) Motoren (high speed, small)
- Mittelschnellaufende (Mittel-) Motoren (medium speed, medium)
- Langsamlaufende (Groß-) Motoren (low speed, large)

### 3.5 Das Drehmoment

Das *Drehmoment* spiegelt die Arbeit wieder, die ein Motor abgibt. Bei Verbrennungsmotoren sollte das Drehmoment so hoch wie möglich sein und sein Maximum über der Drehzahl so gering wie möglich. Auf Grund dieser Tatsache kann man sehr gute Fahrleistungen bei relativ geringen Hubraumvolumina erreichen. Relativ geringes Hubraumvolumen bei Ottomotoren bedeutet verringerte Gaswechselerbeit durch Entdrosselung und dadurch auch einen geringeren Verbrauch und weniger Schadstoffemissionen. Um Drehmoment und Leistung zu erhöhen werden Motoren aufgeladen.<sup>18</sup>

$$M_d = \frac{P_e}{\omega}$$

---

<sup>18</sup> Vgl. Hans-Hermann Braess / Ulrich Seifert: Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 1. Auflage, Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2000, S.131 ff

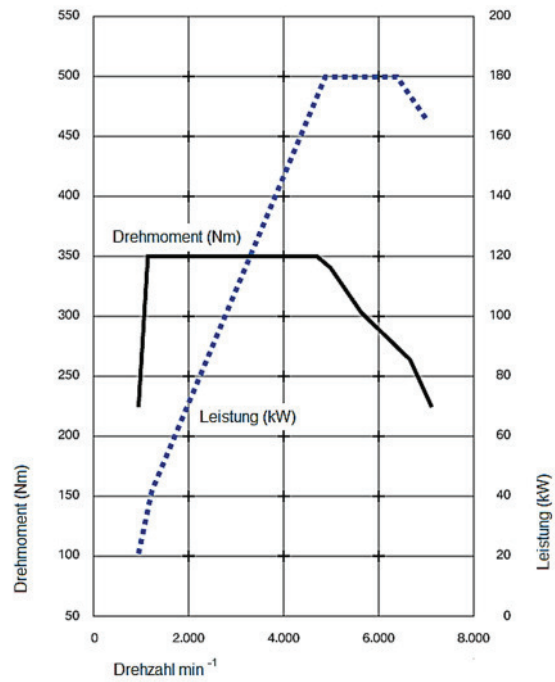
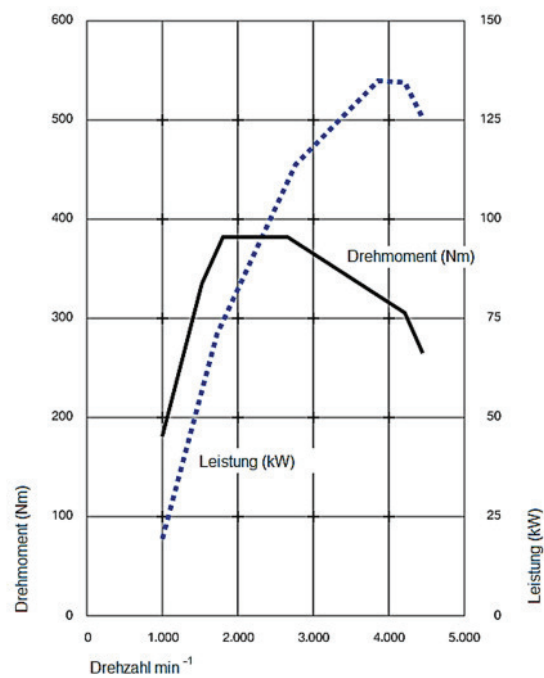


Abb.15: Drehmomentverlauf BMW320i (Benzinmotor)



19

Abb.16: Drehmomentverlauf BMW320d (Dieselmotor)

<sup>19</sup> Vgl. <http://www.bmw.de>

## 4 Charakteristische Kenngrößen von Verbrennungsmotoren

*Motorkenngrößen* sind ein wichtiges Hilfsmittel zur Beurteilung und zur Einordnung eines Motors und sind gleichzeitig die Basis um Motoren miteinander vergleichen zu können. Des Weiteren dienen diese Kenngrößen auch den *Entwicklern und Konstrukteuren*, als auch den *Benutzern* solcher Verbrennungsmotoren als Hilfestellung für die Leistungs- und Verbrauchsbetrachtung. Auch für die Auslegung von bestimmten und wichtigen Grundabmessungen des Motors werden diese herangezogen. Dabei wird zwischen konstruktiven Kenngrößen und Betriebskenngrößen unterschieden.<sup>20</sup>

### (1) Hubvolumen für einen Zylinder

$$V_h = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot s$$

### (2) Zylinderzahl

$$Z = \frac{V_H}{V_h}$$

### (3) Kompressionsverhältnis

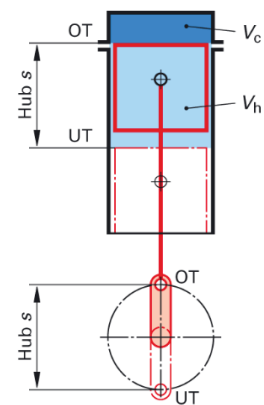
(geometrisches Verdichtungsverhältnis)

$$\varepsilon = \frac{V_c + V_h}{V_c}$$

### (4) Kompressionsverhältnis

(thermodynamisches Verdichtungsverhältnis)

$$\varepsilon_{th} = \frac{V_{ges_{max}}}{V_{ges_{min}}}$$



<sup>20</sup> Vgl. Richard van Basshuysen/Fred Schäfer: Handbuch Verbrennungsmotor – Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven, 7. Auflage, Bad Wimpfen/Hamm, Springer Vieweg, 2012, S.14ff

**(5) Mittlerer innerer Kolbendruck**

$$p_i = \frac{A_i}{l_i} \cdot m_p$$

**(6) Mittlerer effektiver Kolbendruck**

$$p_{me} = p_i \cdot \eta_m$$

**(7) Kraftstoffzufuhr**

$$B \cdot H_U \cdot \eta_e = 3600 \cdot P_e \longrightarrow \eta_e = \frac{3600}{b \cdot H_U}$$

**(8) Leistung**

$$P_i = \frac{V_H \cdot p_i \cdot n}{C}$$

**(9) Effektive Leistung**

$$P_e = \frac{V_H \cdot p_{me} \cdot n}{C}$$

**(10) Mittlerer Kolbendruck**

$$p_i = \frac{3600 \cdot \lambda_L}{b \cdot \lambda \cdot V_{L_{min}}} \cdot \frac{1}{\eta_m}$$

**(11) Spezifischer Kraftstoffverbrauch**

$$b = \frac{B}{P_e} = \frac{3600}{H_U \cdot \eta_e}$$

**(12) Effektiver Wirkungsgrad**

$$\eta_e = \frac{3600}{b \cdot H_U}$$

**(14) Mittlerer effektiver Kolbendruck**

$$p_{me} = \frac{3600 \cdot \lambda_L}{b \cdot \lambda \cdot V_{L_{min}}}$$

**(15) Mittlere Kolbengeschwindigkeit**

$$v_m = \frac{s \cdot n}{30}$$



**(16) Hubraumleistung**

$$P_{e_{V_H}} = \frac{P_e}{V_H}$$

**(17) Leistungsgewicht**

$$m_{P_e} = \frac{m_{\text{Motor}}}{P_e}$$

**(18) Leistungspreis**

$$\epsilon_{P_e} = \frac{\text{Motorpreis}}{P_e}$$

**(19) Spezifische Kolbenflächenleistung**

$$P_{\text{spK}} = \frac{P_{\text{el}}}{A_K}$$

**(20) Laufwert**

$$\alpha_L = \xi \cdot \frac{(d \cdot n)^2}{1000}$$

**(21) Hubböhrungsverhältnis<sup>21</sup>**

$$\xi = \frac{s}{d}$$

---

<sup>21</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S14ff

## 5 Aufbau

### 5.1 Aufbau des Ottomotors

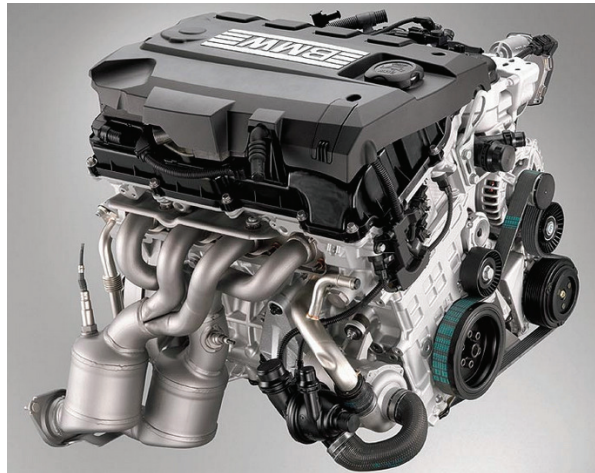


Abb.17: Der Ottomotor von BMW

Ein *Ottomotor* besteht immer aus einem *Motorgehäuse*, dem *Zylinderkopf* und einer *Ölwanne*. Im Zylinder findet man *Kolben*, die *Pleuelstange* und ebenfalls die *Kurbelwelle*, während sich im *Zylinderkopf* die *Nockenwelle*, die *Zündkerze* und die *Ein- und Auslassventile* befinden.<sup>22</sup> Dieser Kolben ist mit der Pleuelstange verbunden und kann sich im Zylinder nur nach unten und nach oben bewegen. Die *Pleuelstange* ist wiederum mit der *Kurbelwelle* verbunden. Die *Kurbelwelle* dient zur Umwandlung von einer geradlinigen Bewegung in eine Drehbewegung. Den Raum, in dem sich der Kolben bewegt wird als *Hubraum* bezeichnet. Und den darüber liegenden Raum nennt man *Verbrennungs- bzw. Verdichtungsraum*. In diesem Raum liegen die beiden Ventile, die für die Kraftstoff Zu- und Abfuhr verantwortlich sind. Sie besitzen eine eigene Feder, die dafür sorgt, dass die Feder geschlossen bleibt. Für das Öffnen der Ventile ist die so genannte *Nockenwelle* verantwortlich. Sie dreht sich unterhalb des

<sup>22</sup> Vgl. [http://www.e-hausaufgaben.de/Referate/D4055-Referat-Chemie-Der\\_Benzinmotor-Aufbau-Funktion-Wirkung.php](http://www.e-hausaufgaben.de/Referate/D4055-Referat-Chemie-Der_Benzinmotor-Aufbau-Funktion-Wirkung.php)



sind mit einem *Zylinderdeckel* abgedeckt. Die *Nockenwelle*, die diese Ventile steuert kann je nach dem oben oder unten liegen. Damit der Dieselmotor überhaupt funktioniert wird zusätzlich noch eine so genannte *Einspritzanlage* benötigt welche am Motor angebaut ist. Mittels einer Förderpumpe wird Treibstoff (Diesel) aus dem Tank in die *Einspritzpumpe* gebracht. Der Zeitpunkt des Einspritzens wird über die verschiedenen Antriebe im Steuerbereich des Motors (Zahnräder, Riemen oder Ketten) eingestellt.

Kurz bevor der Kolben den oberen Totpunkt (OT) erreicht, wird mittels der Einspritzdüse Diesel von der Einspritzpumpe in den Zylinder gespritzt. Damit der Treibstoff leichter direkt in den Brennraum gelangt kann, ist die Einspritzdüse meist im Zylinderkopf eingebaut.

Im Falle von Turbodieselmotoren wird zusätzlich noch ein Turbolader verbaut welcher an den Auspuff gekoppelt ist. Dieser presst die notwendige Luft für die Verbrennung in den Zylinder. Dadurch wird nochmals die Kompression erhöht und die damit auch die Leistung.<sup>24</sup>

Zu jedem Dieselmotor kommen noch weitere Anbausysteme wie beispielsweise die *Wasserpumpe*, die *Lichtmaschine* zur Stromversorgung, ein *Kompressor* für die Druckluftherzeugung und weitere *Hydraulikanlagen* natürlich hinzu.

Der Aufbau des Dieselmotors wird stetig weiterentwickelt um beispielsweise den Verbrauch, die Lautstärke und den Abgasausstoß zu verbessern.

---

<sup>24</sup> Vgl. [http://www.helpster.de/aufbau-vom-dieselmotor-einfach-erklart\\_107855](http://www.helpster.de/aufbau-vom-dieselmotor-einfach-erklart_107855)

## 6 Funktionsweise

### 6.1 Funktionsweise des Dieselmotors

Der *Dieselmotor* wird auch als *Selbstentzündungsmotor* mit innerer Gemischbildung bezeichnet. Die für die Verbrennung notwendige Luft wird im Brennraum hoch verdichtet. Dadurch entstehen hohe Temperaturen die den eingespritzten Dieseldieselkraftstoff sich selbst entzünden lassen. Die enthaltene chemische Energie wird dabei vom Dieselmotor mittels Wärme in mechanische Arbeit umgewandelt. Der Dieselmotor besitzt generell den höchsten Wirkungsgrad bei den Verbrennungsmotoren. (bis zu maximal 50%)

Sie können sowohl mit dem Zweitakt- als auch mit dem Viertaktprinzip arbeiten. Jedoch kommt hauptsächlich das Viertaktprinzip zur Anwendung.

Ein Dieselmotor enthält einen oder mehrere Zylinder. Durch die Verbrennung des Luft-Kraftstoff-Gemisches wird eine periodische Auf- und Abwärtsbewegung je Zylinder über jeweils einen Kolben ausgeführt. Durch dieses Funktionsprinzip bekam der Motor auch den Namen *Hubkolbenmotor*.<sup>25</sup>

Die *Pleuelstange* setzt diese Hubbewegungen der *Kolben* in eine Rotationsbewegung der *Kurbelwelle* um. Die Bewegung wird mittels einer Schwungmasse an der Kurbelwelle aufrecht gehalten und vermindert zusätzlich die Drehungleichförmigkeit. Diese Drehungleichförmigkeit wird durch die einzelnen Verbrennungen in den Kolben hervorgerufen. Die so genannte *Kurbelwellendrehzahl* wird auch als *Motordrehzahl* bezeichnet.

Im Gegensatz zum Ottomotor (Benzinmotor) muss bei Dieselmotoren *vorgeglüht* werden. Dieses *Vorglühen* wurde früher scherzhaft *Rudolf-Diesel-Gedenkminute* genannt. Moderne Dieselmotoren springen mittlerweile auch im tiefsten Winter sofort an. Die sogenannte Aufwärmphase wurde immer mehr verkürzt, sodass sie der Fahrer schon fast nicht mehr bemerkt. Im Unterschied zum Ottomotor wird beim Dieselmotor der Startvorgang nicht durch einen elektronischen Zündvorgang eingeleitet, sondern durch Selbstzündung. Dabei

---

<sup>25</sup> Vgl. Robert Bosch GmbH: Dieselmotor-Management: Systeme und Komponenten, 4. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.24ff

wird angesaugte Luft stark verdichtet, sodass sie sich bis auf 900 °C erhitzt. Im Brennraum trifft sie mit Diesel zusammen und das Gemisch entzündet sich. Bei niedrigen Temperaturen, heutzutage fast nur mehr bei Frost, helfen hierbei elektrisch betriebene Glühkerzen nach – das wird als *Vorglühen* bezeichnet.

## 6.2 Funktionsweise des Ottomotors

Das Prinzip des *Ottomotors* beruht auf der Umwandlung von chemischer in kinetische Energie, wobei das Luft-Kraftstoff-Gemisch im Zylinderraum mittels einer gezielten Zündung mittels einer *Zündkerze* bei hohem Druck verbrannt wird. Die Bewegung der Kolben im Zylinder ist auf die wie bei jeder Verbrennung entstehenden hohen Temperaturen, die erhöhte Teilchenbewegung und auch auf hohe Drücke zurück zu führen. Da dem großen inneren Druck ein in Relation wesentlich geringerer äußerer Druck entgegensteht bewirkt zwangsläufig diese Bewegung des Kolbens.

Mittels der so genannten *Pleuelstange* wird auch beim Ottomotor die kinetische Energie in Rotationsenergie der *Kurbelwelle* umgewandelt.

Während dieser Umwandlungsvorgänge geht Nutzenergie verloren und wird beispielsweise in Form von Wärmeenergie an die Umwelt abgegeben. Durch diesen Verlust sinkt der Gesamtwirkungsgrad des Motors. Jedoch nicht nur der Verlust durch Wärmeenergie trägt zum Verlust des Wirkungsgrades bei. Auch weitere Faktoren wie z.B. *Abdichtung des Zylinderraums*, *Reibung*, *Schwingungen des Motors* tragen dazu bei.<sup>26</sup>

Zu Beginn war bei atmosphärischen Ottomotoren ein Wirkungsgrad von circa 10% möglich. Heutzutage ist ein Wirkungsgrad von circa 30% erreichbar.

---

<sup>26</sup> Vgl. [http://www.e-hausaufgaben.de/Referate/D4055-Referat-Chemie-Der\\_Benzinmotor-Aufbau-Funktion-Wirkung.php](http://www.e-hausaufgaben.de/Referate/D4055-Referat-Chemie-Der_Benzinmotor-Aufbau-Funktion-Wirkung.php)

## 6.3 Arbeitsverfahren

### 6.3.1 Vier-Takt Verfahren<sup>27</sup>

#### 1. Takt (Ansaugtakt)

- (1) Kolben befindet sich im oberen Totpunkt (OT)
- (2) Kolben bewegt sich nach unten, Auslassventil wird geschlossen
- (3) Luft oder Kraftstoff-Luft-Gemisch wird in den Zylinder gesaugt
- (4) Kolben befindet sich im unteren Totpunkt (UT)

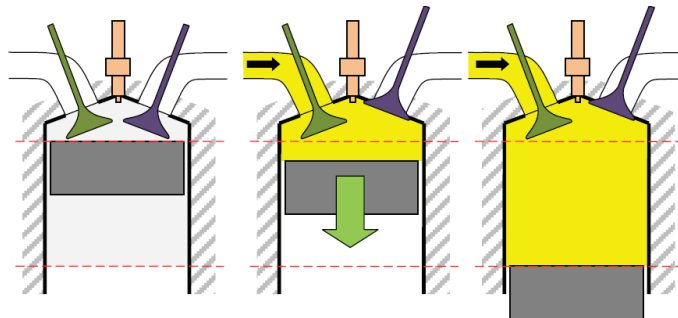


Abb.19: 1. Takt (Ansaugtakt)

#### 2. Takt (Verdichtungstakt)

- (1) Kolben bewegt sich nach oben, Einlassventil wird geschlossen
- (2) Verdichtung findet statt (+Einspritzung bei Direkteinspritzer)
- (3) Zündung bzw. Entzündung durch Druck

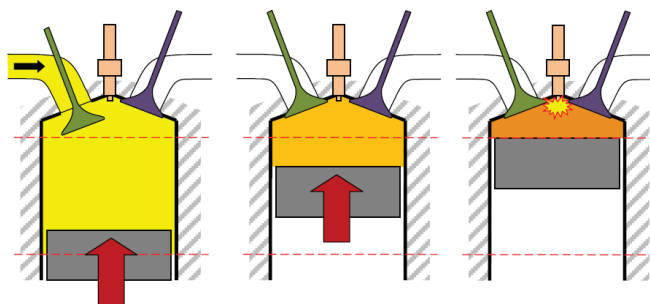


Abb.20: 2. Takt (Verdichtungstakt)

<sup>27</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Handbuch Verbrennungsmotor - Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven, 5. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2010, S.10 ff

### 3. Takt (Arbeitstakt)

(1) Gas dehnt sich aus und schiebt den Kolben nach unten

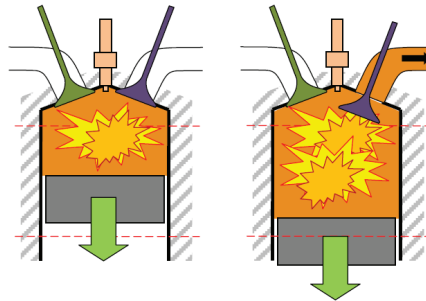


Abb.21: 3. Takt (Arbeitstakt)

### 4. Takt (Ausstoßtakt)

- (1) Auslassventil wird geöffnet
- (2) Kolben befindet sich bei unterem Totpunkt (UT)
- (3) Kolben wandert nach oben, Abgas wird ausgestoßen
- (4) Einlassventil wird geöffnet
- (5) Kolben befindet sich beim oberem Totpunkt (OT)

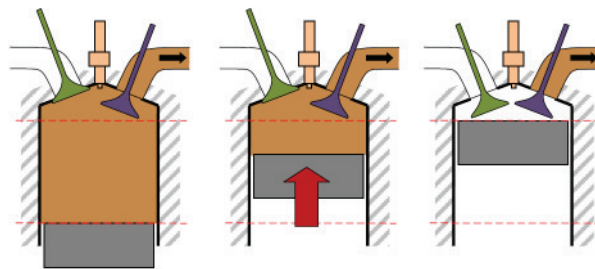


Abb.22: 4. Takt (Ausstoßtakt)

## 6.3.2 Zwei-Takt Verfahren<sup>28</sup>

### 1. Takt (Arbeiten)

- (1) Brennstoffgemisch wird gezündet

<sup>28</sup> Vgl. Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Handbuch Verbrennungsmotor - Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven, 5. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2010, S.10 ff





*Kraftstoffverbrauchs* als auch zur *Reduktion des Schadstoffausstoßes* von Dieselmotoren.

#### 6.4.1 Aufbau

Das *Common Rail System* besteht im Wesentlichen aus einem *Niederdruckteil* (Komponenten für Kraftstoffversorgung), einem *Hochdruckteil* (Hochdruckpumpe, Injektoren, Kraftstoffleitungen) und einer *elektronischen Dieselregelung (EDC)* bestehend aus Sensoren, Steuergerät und Aktoren. Die Kernbestandteile sind jedoch die *Injektoren*, die über ein schnell schaltendes Ventil verfügen über das die Einspritzdüse geöffnet und geschlossen wird. Aus diesem Grund kann der *Einspritzvorgang* auch für jeden Zylinder *individuell* gesteuert werden. Diese Injektoren sind direkt am *Rail* angeschlossen. Beim *Common Rail System* kann der Systemdruck abhängig vom Betriebspunkt des Motors eingestellt werden was wiederum für dieses System kennzeichnend ist.

#### 6.4.2 Arbeitsweise

Beim *Common Rail System* sind Druckerzeugung und Einspritzung entkoppelt. Der *Einspritzdruck* wird unabhängig von Motordrehzahl und Einspritzmenge erzeugt. Gesteuert werden die einzelnen Komponenten durch die *elektronische Dieselregelung (EDC)*.

Die Entkoppelung von Einspritzung und Druckerzeugung passiert mit Hilfe eines Speichervolumens. Im Speichervolumen steht der unter Druck stehende Kraftstoff für die Einspritzung bereit. Eine vom Motor angetriebene *Hochdruckpumpe* baut den notwendigen Einspritzdruck auf. Die *Hochdruckpumpe (Radialkolbenpumpe)* hält den Druck im Rail unabhängig von Motordrehzahl und Einspritzmenge aufrecht. Diese kann deutlich kleiner als bei normalen Einspritzsystemen aufgrund der nahezu gleichförmigen Förderung ausfallen.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> Vgl. Konrad Reif: Moderne Diesel-Einspritzsystem: Common Rail und Einzelzylindersysteme, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2010, S.18ff



Abb.24: Hochdruckpumpe Common Rail

Der *gewünschte Raildruck* wird bei PKW-Systemen mittels eines *Druckventils* hochdruckseitig geregelt. Für die Einspritzung nichtbenötigter Kraftstoff wird in den Niederdruckkreis zurückgefördert. Diese Regelung ermöglicht eine einfache Anpassung des Raildrucks bei Betriebsdruckänderung.

Für die Förderung des Kraftstoffs zur Hochdruckpumpe kommen bei Common Rail Systemen für PKW entweder *Elektrokraftstoffpumpen* oder *Zahnradpumpen* zum Einsatz oder auch beide Pumpenarten zusammen.

Bei der *Hochdruckregelung* erfolgte die Regelung des Raildrucks am Anfang über das *Druckregelventil*. In weiterer Folge wurde die Regelung des Raildrucks niederdruckseitig über die *Zumesseinheit* durchgeführt. Das Common Rail System heutzutage ist durch die *Piezo-Inline-Injektoren* gekennzeichnet.<sup>30</sup>



Abb.25: Piezo Injektor

<sup>30</sup> Vgl. <http://www.audi.de>

*Die Vorteile* dieses Piezo Injektors liegen vor allem darin, dass die *Schadstoffemissionen viel geringer* sind als bei anderen Systemen. Dadurch können nun auch die EU5 und EU6 Abgasnormen eingehalten werden.

Zusammengefasst kann man sagen, dass der Dieselmotor mittels der Common Rail Technologie noch strengere Abgasnormen erfüllen kann. Des Weiteren wird er durch diese Technologie auch sparsamer in punkto Verbrauch.<sup>31</sup>

#### **6.4.3 Vorteile des Common Rail Systems<sup>32</sup>**

- Einspritzzeitpunkt und –menge werden über das Magnetventil gesteuert
- hohes Druckangebot bei niedrigen Drehzahlen
- flexibler Einspritzbeginn
- leichte Anpassung an die Gegebenheiten des Motors
- besseres Abgas durch gründlichere Verbrennung

---

<sup>31</sup> Vgl. <http://www.audi.de>

<sup>32</sup> Vgl. Vgl. Konrad Reif: Moderne Diesel-Einspritzsystem: Common Rail und Einzelzylindersysteme, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2010, S.18ff

## 7 Zylinderanordnungen im Motor

### 7.1 R - Motor

Der sogenannte *Reihenmotor R-Motor* bildet die erste Entwicklungsstufe in der Motorentechnik. Senkrecht über der Kurbelwelle sind hierbei die Zylinder in einer Reihe angeordnet.

Der Vorteil liegt beim R-Motor in der einfachen Konstruktion, als Nachteil ist anzumerken, dass bei einer großen Anzahl von Zylindern die Motoren sehr lang werden.

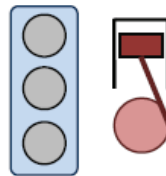


Abb.26: R-Motor (schematische Darstellung)

### 7.2 V - Motor

Bei *V-Motoren* werden die einzelnen Zylinder in einem Winkel von  $60^\circ$  bis  $120^\circ$  angeordnet. Die Mittelachsen der Zylinder laufen dabei durch die Mittelachse der Kurbelwelle. Zu den Vorteilen bei V-Motoren zählt auf jedem Fall, dass die Motoren sehr kurz gebaut werden können. Zu den Nachteilen zählen, die Motorenbreite, zwei getrennte Zylinderköpfe und daher ein größer benötigtes Motorraumvolumen.

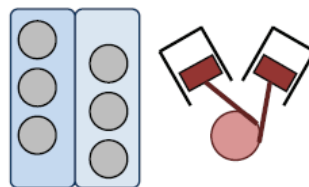


Abb.27: V-Motor (schematische Darstellung)

### 7.3 VR - Motor

Bei *VR-Motoren* sind die 6 Zylinder in einem Winkel von  $15^\circ$  V-förmig versetzt in einem kurzen, schlanken Motorblock angeordnet. Dieser Motor besitzt im Gegensatz zum V-Motor nur einen Zylinderkopf.

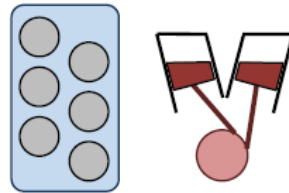


Abb.28: VR-Motor (schematische Darstellung)

### 7.4 W - Motor

Konstruktive Merkmale der V- und VR-Motoren wurden im sogenannten *W-Motor* mit dem Ziel vereint, noch kompaktere Motoren bei einer größeren Anzahl von Zylindern zu ermöglichen. Gleich wie bei V-Motoren sind die Zylinder auf zwei Zylinderköpfe verteilt, welche beim W8- und W12-Motor einen V-Winkel von  $72^\circ$  zueinander haben. Innerhalb eines Zylinderkopfes halten die Zylinder einen Winkel von  $15^\circ$ . Der *W-Motor* von vorne betrachtet zeigt ein *doppeltes V* der Zylinderanordnung. Legt diese beiden jetzt zusammen so erhält man ein *W* – daher auch der Name *W-Motor*.<sup>33</sup>

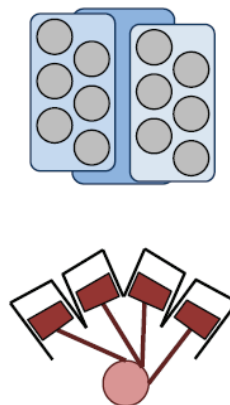


Abb.29: W-Motor (schematische Darstellung)

<sup>33</sup> Vgl. Hans-Hermann Braess / Ulrich Seifert: Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 1. Auflage, Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2000, S.230ff

## 8 Thermodynamische Grundlagen

### 8.1 Der thermodynamische Kreisprozess

Alle Prozesse im Motor sind *nicht umkehrbar (irreversibel)*, d.h. der Anfangszustand, energetisch gesehen, kann nicht (nie) wieder hergestellt werden.

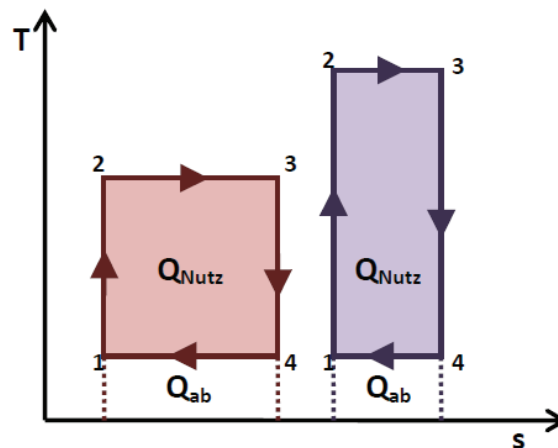


Abb.30: Thermodynamischer Kreisprozess

### 8.2 Carnot'scher Kreisprozess

*Thermodynamischer Wirkungsgrad:*

$$\eta_{\text{th}} = \frac{q_{\text{zu}} - q_{\text{ab}}}{q_{\text{zu}}} = \frac{q_{\text{Nutz}}}{q_{\text{zu}}}$$

Je schmaler  $\Delta s$  ist, umso weniger Verluste durch Rückkehr in den Ausgangspunkt. Am geringsten ist die Entropieänderung  $\Delta s$  beim heutigen Dieselmotor – die Flächenbreite ist schmaler. (siehe folgende Abbildung *Carnot'scher Kreisprozess*)<sup>34</sup>

<sup>34</sup> Vgl. Hans-Hermann Braess / Ulrich Seifert: Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 1. Auflage, Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2000, S.187ff

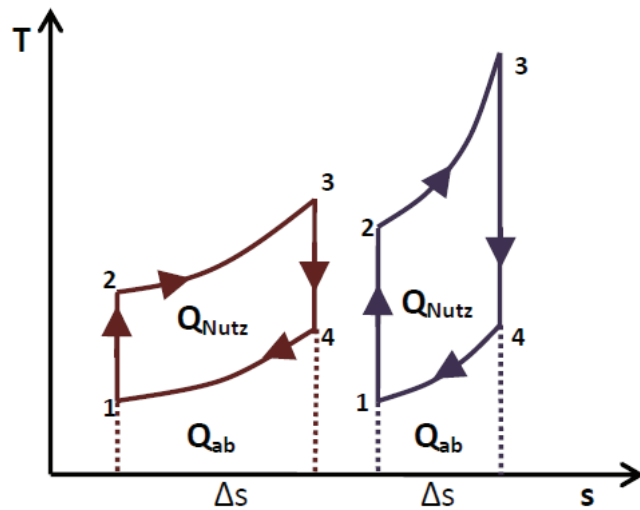


Abb.31: Carnot'scher Kreisprozess (T-s-Diagramm)

*Isobare und Isochore im T-s-Diagramm:*

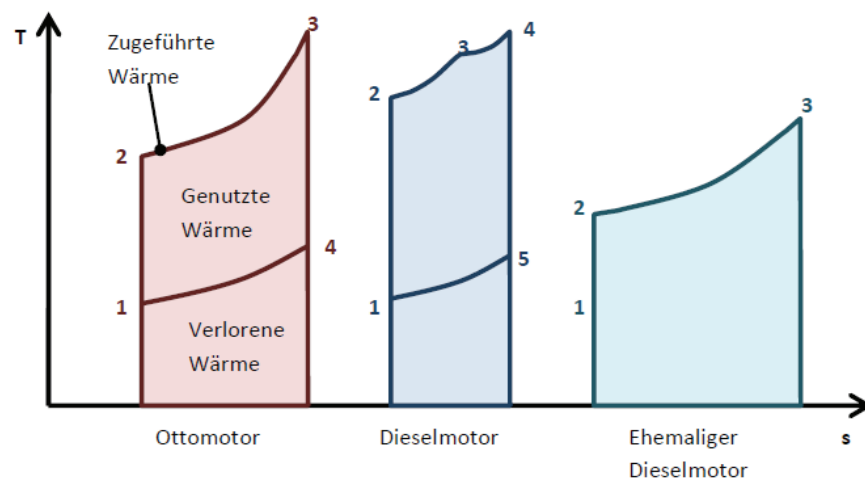


Abb.32: T-s-Diagramm: Ottomotor und Dieselmotor

*Ottomotor*

- 1 – 2: Isentrop
- 2 – 3: Isochor
- 3 – 4: Isentrop
- 4 – 1: Isochor

*Dieselmotor*

- 1 – 2: Isentrop
- 2 – 3: Isochor
- 3 – 4: Isobar
- 4 – 5: Isentrop
- 5 – 1: Isochor



<sup>35</sup> Vgl. Konrad Reif: *Bosch – Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik: Konventioneller Antrieb*, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2011, S.18ff

$-\Delta W_p \rightarrow$  Arbeitsfläche bedingt durch nicht Erreichen des Anfangsdruckes

$-\Delta W_t \rightarrow$  Arbeitsfläche bedingt durch nicht Erreichen der Anfangstemperatur

- |        |  |
|--------|--|
| 1 – 2: | Isentrop (es findet kein Wärmeaustausch statt) |
| 2 – 3: | Isochore Verbrennung                           |
| 3 – 4: | Isentropische Expansion                        |
| 4 – 1: | Isochorer Ausstoß von verarbeitetem Gas        |

### Seiligerprozess (Dieselmotor)

Die Verdichtung der angesaugten Luft erfolgt beim *Seiligerprozess* *isentrop* bis das Volumen oberhalb des Kolbens nur mehr aus dem Verdichtungsendraum besteht. Durch die *isochore Wärmezufuhr* wird der eingespritzte Kraftstoff anschließend entzündet. (Selbstzündung) Danach erfolgt eine *isobare Gleichdruckverbrennung* des Kraftstoff-Luft-Gemisches. Während der anschließenden *isentropen Expansion* bewegt sich der Kolben wieder nach unten. (zum unteren Totpunkt UT) Nun wird durch das Auslassventil *isochore Wärme* abgeführt. (Abgasausstoß durch den Auspuff)<sup>36</sup>

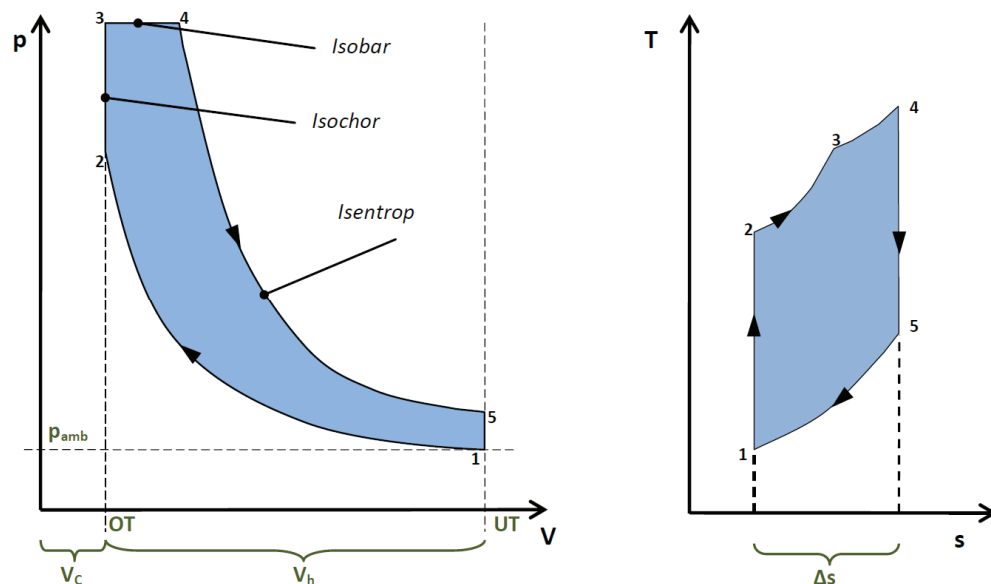


Abb.34: p-V und T-s Diagramm Dieselmotor

<sup>36</sup> Vgl. Konrad Reif: Bosch – Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik: Konventioneller Antrieb, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2011, S.18ff

1 – 2:	Isentrop
2 – 3:	Isochore Verbrennung (Gleichraumverbrennung)
3 – 4:	Isobare Verbrennung (Gleichdruckverbrennung) (restlicher Kraftstoff wird verbrannt, Kolben fährt währenddessen schon wieder nach unten)
4 – 5:	Isentrope Expansion
5 – 1:	Ausstoß der Abgase

## 8.4 Indikatordiagramm

### 8.4.1 Ottomotor

Beim Viertakt-Ottomotor besteht das *Arbeitsspiel* aus vier Kolbenhüben.

1. *Takt*: Gemisch wird angesaugt (OT nach UT) - das Einlassventil öffnet circa 10-30° vor OT und schließt circa 30-60° nach UT
2. *Takt*: Verdichtung von 10 auf 16bar - Temperaturanstieg auf circa 500°C - Gemischzündung circa 40-0° vor OT – Verbrennungsdruck steigt bis 60bar, Verbrennungstemperatur ca. 2500°C
3. *Takt*: Arbeit wird verrichtet (durch Expansion) – 40-60° vor UT öffnet das Auslassventil – Abgase (circa 600°C) strömen mit hoher Geschwindigkeit Richtung Auspuff – Staudruck wird durch Voröffnung vermieden
4. *Takt*: 5-30° nach OT schließt Auslassventil – es findet eine Ventilüberschneidung zwischen vierten und ersten Takt statt. (gemeinsames öffnen von Einlass- und Auslassventil)

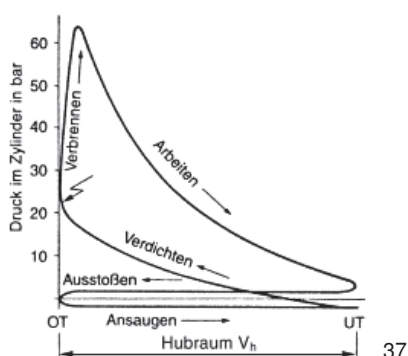


Abb.35: Indikatordiagramm Viertakt-Ottomotor

<sup>37</sup> Vgl. Alfred Böge / Wolfgang Böge: Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 22.Auflage, Wolfenbüttel, Springer Vieweg, 2015, S.67

### 8.4.2 Dieselmotor

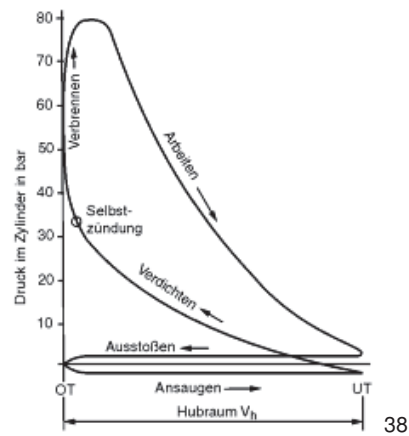


Abb.36: Indikator diagramm Viertakt-Dieselmotor

### 8.5 Mittlerer Kolbendruck & Motorleistung

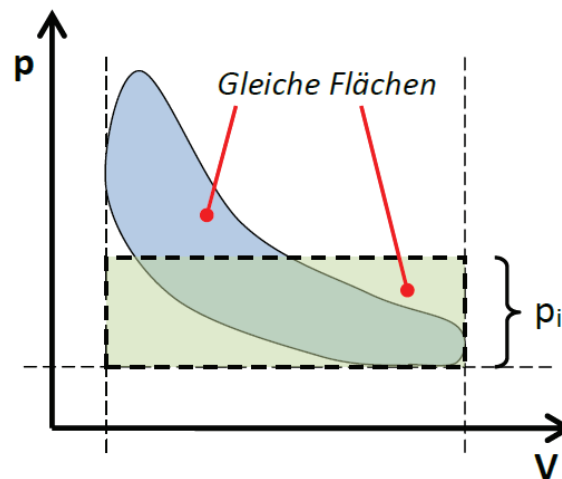


Abb.37: Mittlerer Kolbendruck

<sup>38</sup> Vgl. Alfred Böge / Wolfgang Böge: Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 22.Auflage, Wolfenbüttel, Springer Vieweg, 2015, S.51

$$P_i = W_K \cdot n_a$$

$$F_K = p_i \cdot A_K$$

$$W_K = F_K \cdot s$$

$$A_K = \frac{d^2}{4} \cdot \pi$$

$$P_i = p_i \cdot A_K \cdot s \cdot n_a \quad (V_h = A_K \cdot s)$$

$$P_i = p_i \cdot V_h \cdot n_a \quad \dots \text{Leistungsformel für den Verbrennungsmotor}^{39}$$

*Effektive Nutzleistung:*

$$P_e = P_i - P_R$$

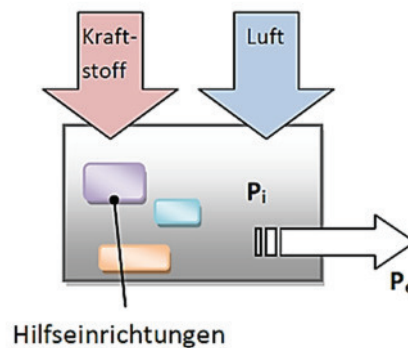


Abb.38: Effektive Nutzleistung

*Reibungsverluste* ( $P_R$ ) können infolge von Gleit-, Roll- und Abtriebsenergie für abhängige Hilfseinrichtungen entstehen.

<sup>39</sup> Vgl. Konrad Reif: Bosch – Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik: Konventioneller Antrieb, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2011, S.18ff

## 9 Verbrennungsraumarten

### 9.1 Verbrennungsraum beim Ottomotor<sup>40</sup>

#### 9.1.1 Ricardo - Brennraum

Die Schließbewegung des stehenden Ventils ist gleichsinnig mit der Kolbenbewegung vom oberen zum unteren Totpunkt. Der Brennraum ist sauber (*keine Zerklüftungen*).

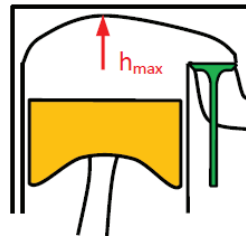


Abb.39: Ricardo-Brennraum

#### 9.1.2 Kugel-Brennraum

Dies ist die beste Brennraumgestaltung da bei dieser Art das beste Verhältnis zwischen Oberfläche zu Volumen herrscht. Er besitzt zwei Nockenwellen.

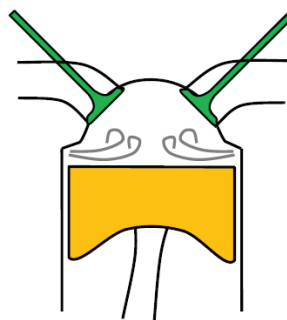


Abb.40: Kugel-Brennraum

<sup>40</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.967 ff

### 9.1.3 Keil-Brennraum

Aufgrund der niedrigen Brennraumhöhe, ist diese Art des Brennraums eher schlecht. (*Gemischnest*)

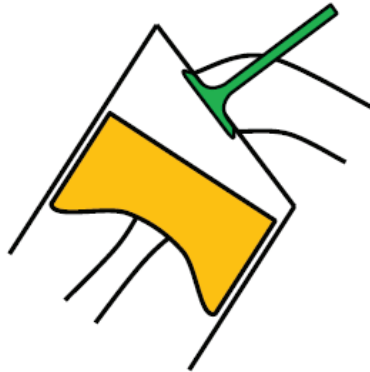


Abb.41: Keil-Brennraum

## 9.2 Verbrennungsraum beim Dieselmotor

Bei Dieselmotoren ist die Problematik besonders durch die verkürzte *Gemischbildungsdauer* im Vergleich zum Ottomotor und durch die *Zerstäubbarkeit und Verdampfbarkeit* der Dieselmotorkraftstoffe.

### 9.2.1 Gemischbildungsdauer

*Ottomotor*

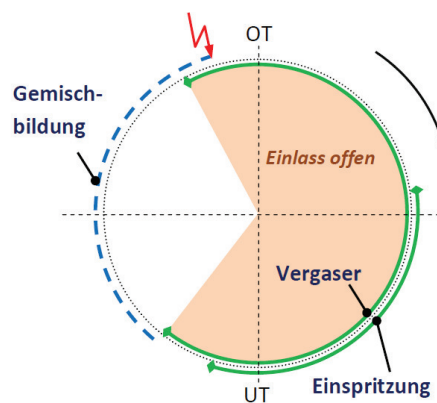


Abb.42: Gemischbildungsdauer Ottomotor

## Dieselmotor

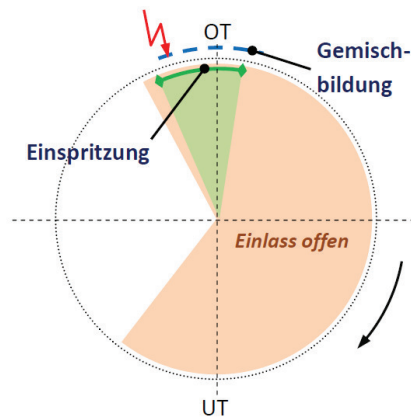


Abb.43: Gemischbildungsdauer Dieselmotor

Wie man aus den beiden Abbildungen leicht erkennen kann, ist die *Gemischbildung* des Ottomotors (Benzinmotors) um *einiges länger* als die beim Dieselmotor. Auch die *Einspritzdauer* beim Ottomotor mit Vergaser oder Einspritzung ist *wesentlich höher* als beim Diesel. Dies soll mittels des grünen Dreiecks dargestellt werden.

## Multimomentaufnahme von der Einspritzung des Dieselmotors

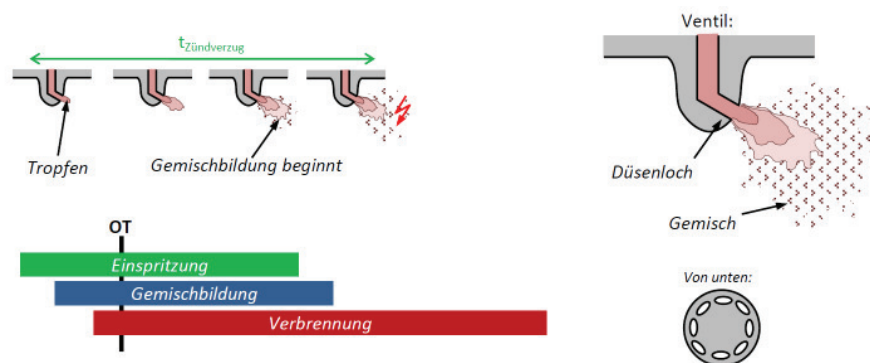


Abb.44: Einspritzung des Dieselmotors

Die Zeit zwischen Verbrennungsbeginn und Einspritzbeginn ist umso kürzer, je höher die *Cetanzahl* ist.



## 9.2.2 Systeme von Dieselmotoren

### Indirekte Einspritzung (IDI)

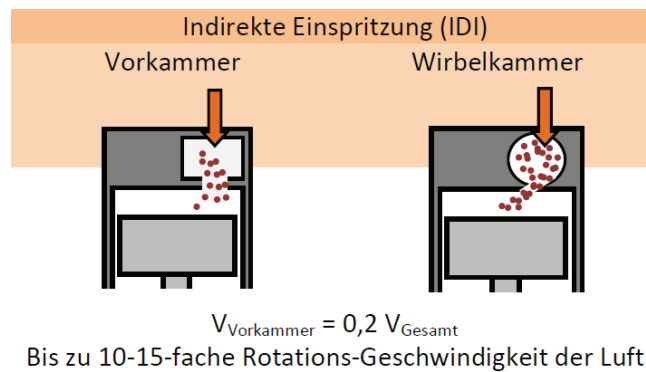


Abb.45: Indirekte Einspritzung

### Direkte Einspritzung (DI)

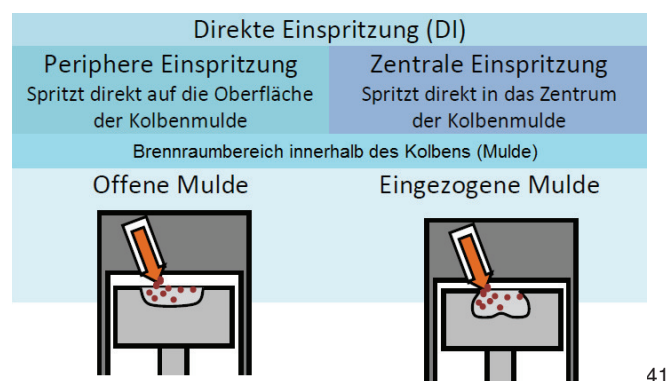


Abb.46: Direkte Einspritzung

## 9.3 Klopfestigkeit und Zündwilligkeit

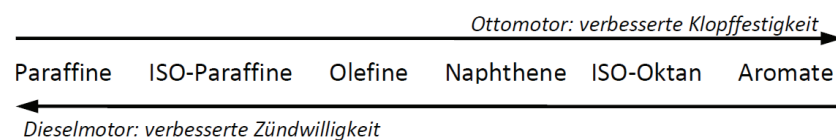


Abb.47: Klopfestigkeit vs. Zündwilligkeit

<sup>41</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.134 ff

### 9.3.1 Verbrennung im Ottomotor

Im *Ottomotor* kann es neben der *klassischen Verbrennung* auch zu einer sogenannten *klopfenden Verbrennung* kommen. Ottomotoren mit einer *homogenen* Gemischbildung haben eine *vorgemischte Flamme*. Luft und Kraftstoff werden lange vor der Entflammung gemischt was im oder außerhalb des Brennraumes geschehen kann. Bei der *Saugrohreinspritzung* erfolgt dies außerhalb des Brennraums und bei der *Direkteinspritzung* erfolgt dies im Brennraum. Zum Zündzeitpunkt liegt das Gemisch bereits gasförmig vor und wird anschließend mittels einer Zündkerze (einem Zündfunken) entzündet. Die *klopfende Verbrennung* (*Klopfen*) ist eine unkontrollierte, irreguläre Verbrennung mit sehr steilem Rückanstieg. Dies entsteht infolge der Selbstentzündung von Gemischteilen vor Eintreffen der Flammfront welche wiederum durch den Zündfunken eingeleitet wurde. Eine chemische Vorreaktion mit hoher Wärmefreisetzung wird aufgrund einer Aufspaltung von Molekülen beim Zerfall instabiler Verbrennungszwischenprodukte (Peroxide) dadurch gefördert. Bei *normaler Verbrennung* beträgt die Verbrennungsgeschwindigkeit *20 bis 60 m/s*, bei *klopfender Verbrennung* beträgt diese *300 bis 2000 m/s*.

*Diese Klopferscheinungen* werden u. a. durch eine *zu geringe Oktanzahl* im Kraftstoff, einem *zu frühem Zündzeitpunkt*, einer *zu niedrigen Drehzahl*, *zu hoher Ansauglufttemperatur* und *unzureichende Kühlung* verursacht.

### 9.3.2 Verbrennung im Dieselmotor

Bei *Dieselmotoren* liegt *keine vorgemischte Flamme* (vorgemischte Verbrennung) sondern eine sogenannte *Diffusionsflamme* vor. *Diffusionsflamme* bedeutet, dass vorab keine Durchmischung stattgefunden hat. Die Gemischbildung erfolgt direkt im Brennraum. Der Dieseldieselkraftstoff wird beim Einspritzen mit der bereits vorhandenen heißen, hochverdichteten Luft aufgeheizt, verdampft anschließend und entzündet sich danach von selbst. Beim *Dieselmotor* kann neben der normalen Verbrennung der Effekt der sogenannten *nagelnden Verbrennung* auftreten. Grund dafür ist ein *Zündverzug während der Verbrennung*. Die in der heißen Luft angestrebte Verbrennung des

Diesels wird durch *ungünstige Motorparameter verzögert* und es kommt dadurch zu einer explosionsartigen Verbrennung größerer Kraftstoffmengen mit hohen mechanischen Belastungen. Ungünstige Motorparameter können z.B. eine *zu geringe Cetanzahl im Kraftstoff* oder *Kaltlauf* sein. Die Folgen dieses *Nagelns* sind gleich zu setzen die des *Klopfens*.<sup>42</sup>

---

<sup>42</sup> Vgl. Günter P. Merker/Christian Schwarz: Grundlagen Verbrennungsmotoren – Simulation der Gemischbildung, Verbrennung, Schadstoffbildung und Aufladung, 4. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Teubner, 2009, S.140ff

## 10 Kühlung von Verbrennungsmotoren

Das *Kühlsystem in Verbrennungsmotoren* dient in erster Linie dazu, die beim Durchlaufen des Kreisprozesses entstehende *überschüssige Wärme abzuführen*.

Als *Primärkühlsysteme* kommen in den meisten Fällen sogenannte *Luft- und Wasserkühlsysteme* zum Einsatz. Um den Motor auf einer geeigneten Betriebstemperatur zu halten, wird jedoch hin und wieder die *Kühlung mittels Schmiermittel* genutzt.

In einem Fahrzeug bzw. Motor ist das Motorkühlsystem jedoch nicht immer das einzige Kühlsystem. Neben den Motorkühlsystem kommen auch noch separate Systeme für *Getriebeöl, Motoröl, Ladeluft, Lenkgetriebeöl* und auch den *Kraftstoff* zum Einsatz.

### Flüssigkeitskühlung:

Der Wärmetransport von den warmen Motorkomponenten erfolgt durch strömende Flüssigkeiten – meist Wasser mit Korrosionsschutz- und Frostschutzmitteln

### Luftkühlung:

Der Wärmetransport erfolgt durch die an den warmen Motorkomponenten vorbeiströmenden Luft.

### Gebläseluftkühlung:

Die einzelnen Zylinder werden durch ein Gebläse mit Kühlluft versorgt. Das Gebläse wird häufig über einen Keilriemen vom Motor angetrieben.<sup>43</sup>

---

<sup>43</sup> Vgl. Hans-Hermann Braess / Ulrich Seifert: Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 1. Auflage, Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2000, S.187ff

## 11 Schmierung von Verbrennungsmotoren

Das *Motorschmiersystem* hat zur Aufgabe, die Motorenkomponenten mit ausreichend Schmieröl zu versorgen und stellt in sich ein geschlossenes System dar. Des Weiteren muss das Öl eine Vielzahl von Aufgaben übernehmen.

- Reibung an gleitenden Teilen verringern
- Kühlung der Motorenkomponenten
- Wärmeabführung in den Ölsumpf
- Feinstabdichtung der Kolbenringe
- Abführen von Ablagerungen (Verbrennungsrückstände)
- Korrosionsschutz
- Dämpfung von Geräuschen
- Kraftübertragung (Kettenspanner, Nockenwellenverstellung)

Mittels einer *Pumpe* wird der Motor geschmiert. Bei Viertaktmotoren wird das Öl (Schmieröl) gefiltert. Grund dafür ist, dass neben metallischen Abrieb zusätzlich mit der Ansaugluft Straßenstaub in den Motor gelangt und durch die Verbrennung Wärme bzw. Rückstände entstehen.

Grundsätzlich kann zwischen einer *Voll- (Flüssigkeitsreibung)* und einer *Teilschmierung (Mischreibung)* unterschieden werden.

*Flüssigkeitsreibung* herrscht z.B. in Gleitlagern bei bestimmten Drehzahlen oder nach externer Öldruckaufbringung. Es muss jedoch auch immer damit gerechnet werden, dass *Mischreibung* entsteht. Beispielsweise wenn Kurbelwelle und Lager beim Anlassen den Schmierfilm nicht direkt berühren. Des Weiteren kann nicht vermieden werden, dass bei Komponenten wie bei Nocken, dem Umkehrpunkt der Kolben über weite Strecken eine Mischreibung vorherrscht. Deshalb ist es sehr wichtig, dass der Schmierstoff Additive *gegen Oxidation und Verschleiß* und eine *ausreichende Viskosität* besitzt.

Bei *Dieselmotoren* führt Ruß zu Ölverdickung, bei *Benzinmotoren (Ottomotoren)* verdünnen schwersiedende Kraftstoffanteile beim Kaltstart das Öl.

Folgende Arten der Schmierung gibt es u. a.:

- Druckumlauf-Schmierung
- Trockensumpf-Schmierung<sup>44</sup>

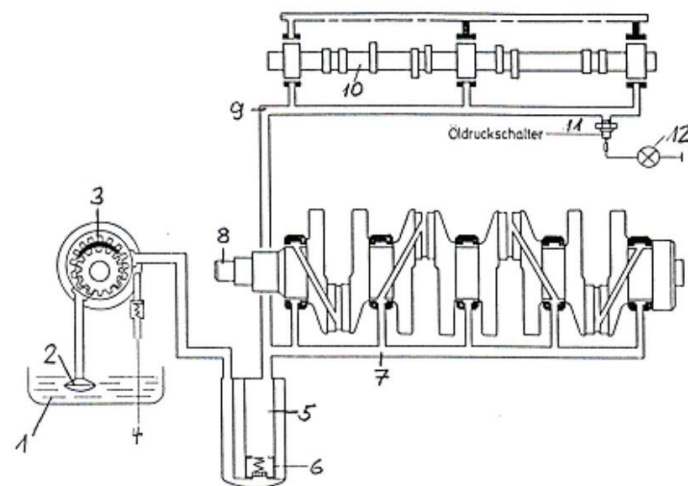


Abb.48: Motor – Schmierung

- |    |     |                              |
|----|-----|------------------------------|
| 1  | ... | Ölwanne                      |
| 2  | ... | Ansaugrohr mit Sieb          |
| 3  | ... | Ölpumpe                      |
| 4  | ... | Überdruckventil              |
| 5  | ... | Ölfilter                     |
| 6  | ... | Kurzschlussventil            |
| 7  | ... | Ölkanal                      |
| 8  | ... | Kurbelwelle                  |
| 9  | ... | Schmierkanal für Nockenwelle |
| 10 | ... | Nockenwelle                  |
| 11 | ... | Öldruckschalter              |
| 12 | ... | Ölkontrolllampe              |

<sup>44</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.134 ff

## 12 Der Kraftstoff

### 12.1 Einflüsse und Wirkungen

- (1) Energieerzeugung
- (2) Art der Kraftstoffaufbereitung
- (3) Art der Kraftstoffverarbeitung
- (4) Lebensdauer des Motors
- (5) Instandsetzungsumfang und –zyklus
- (6) Emission

### 12.2 Systeme zur Kraftstoffaufbereitung

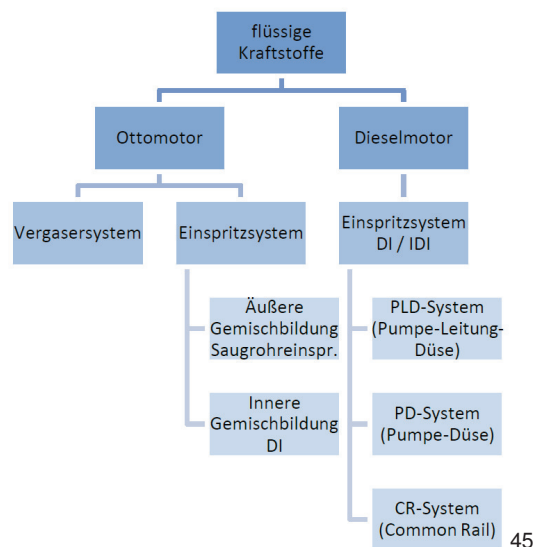


Abb.49: Kraftstoffaufbereitungssysteme

<sup>45</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.350 ff

### 12.2.1 Die Kraftstoffaufbereitung beim Ottomotor

Die *Kraftstoffaufbereitung* beim Ottomotor (Benzinmotor) erfolgte bis Anfang der neunziger Jahre mittels eines *Vergasers*. Danach wurden alle moderneren Ottomotoren mit so genannten *Einspritzanlagen* ausgerüstet. Grund dafür war, dass sich diese Einspritzanlagen wesentlich besser elektronisch steuern lassen. Vor allem für die Arbeit der *Lambdasonde* in einem geregelten 3-Weg-Katalysator ist diese Steuerung ein Muss, da durch diese der Restsauerstoff in Abgasen in Änderungen bei der Gemischbildung umgesetzt werden kann.<sup>46</sup>

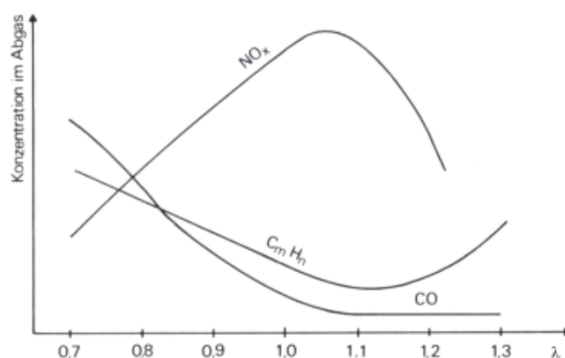


Abb.50: Einfluss des Kraftstoff-Luft-Gemisches auf die Schadstoffemission

Ein wesentlicher Vorteil bei diesen Einspritzanlagen liegt darin, dass durch diese Lambdaregelung *weniger Schadstoffemissionen* entstehen, des Weiteren sind *höhere Verdichtungsverhältnisse* denkbar, der *Kraftstoffverbrauch ist niedriger* und eine *bessere Zylinderinnenkühlung* ist dadurch möglich.

Folgende *Einspritzverfahren* kommen bei Ottomotoren u. a. zum Einsatz:

- Luftmengengeregeltes Einspritzverfahren
- Elektronisches, kontinuierliches Einspritzverfahren
- Kontinuierliches Einspritzverfahren
- Direkteinspritzung

<sup>46</sup> Vgl. <http://motoren-technik.net/ottomotor/>



- Kombiniertes Zünd- und Einspritzsystem

### 12.2.2 Die Kraftstoffaufbereitung beim Dieselmotor

Die *Kraftstoffaufbereitung* bei Dieselmotoren erfolgt ausschließlich über so verschiedene *Einspritzungsverfahren*. Grund dafür ist, dass die hohe kinematische Zähigkeit der Zerstäubung mit einem Vergaser nicht erfolgen kann. Der Einsatz eines Vergasers verbietet sich jedoch auch schon ohne diese Tatsache aufgrund der Arbeitsweise des Dieselmotors. Bevor eine Verbrennung eintreten kann, muss der Kraftstoff (Diesel) bereits zerstäubt, verdampft und mit der Ansaugluft vermischt sein. Der Ablauf dieser Vorgänge ist für die *Verbrennungsgüte* von sehr hoher Bedeutung und daraus resultierend auch sehr wichtig für die Schadstoffemissionen und Geräuschentwicklungen. Im *Unterschied* zum Ottomotor wird beim Dieselmotor *keine homogene Gemischbildung* angestrebt, da in diesem Fall die *Gefahr einer plötzlichen Entflammung des Brennraumes* bestehen würde. Diese plötzliche Entflammung würde dann zu *unzulässig hohen Druckspitzen im Zylinder* führen.<sup>47</sup>

Folgende *Einspritzverfahren* werden bei Dieselmotoren unterschieden:

- Vorkammerverfahren
- Wirbelkammerverfahren
- Direkteinspritzungsverfahren

### 12.2.3 Unterschied Benzin - Diesel

Wenn man die beiden Kraftstoffe *rein optisch* miteinander vergleicht kann man *fast keinen Unterschied* erkennen.

Der wesentliche Unterschied liegt in der jeweiligen Länge der Molekülketten. Der *Diesel* besitzt eine lange und *Benzin* besitzt im Vergleich eine kurze Molekülkette. Ein deutlicher Unterschied liegt jedoch in der *Brennbarkeit* der

---

<sup>47</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.350 ff

beiden Kraftstoffe. Während Benzin *sehr leicht entzündlich* ist, hat der Diesel *einen hohen Flammpunkt*. In punkto Gewicht wiegt der Diesel bei einer gleichen

Menge Benzin circa *11%* mehr. Dies lässt sich aufgrund seiner höheren Dichte erklären.

Da Diesel einen höheren Brennwert besitzt als Benzin, lässt sich auch die Tatsache, dass Fahrzeuge mit Dieselmotor eine *höhere Reichweite* haben als Fahrzeuge mit Ottomotoren (Benzinmotoren) einfach belegen.

Abschließend kann in punkto *Umweltbelastung* noch gesagt werden, dass der *Benzin* pro Liter / Verbrauch einen *geringeren Ausstoß an Emissionen* aufweist als Diesel.<sup>48</sup>

---

<sup>48</sup> Vgl. <http://www.autobild.de>

## 13 Gemischbildung

### 13.1 Luftverhältnis

$$\lambda = \frac{\text{tatsächliche Luftmasse}}{\text{stöchiometrische Luftmasse}}$$

Die *Luftzufuhr* ist für Motoren von sehr großer Bedeutung, da von ihr auch die Leistung abhängt. Damit das Gemisch nicht zu *mager* oder zu *fett* wird, muss die Luftmasse stets an die Kraftstoffmasse angepasst werden. Um dies zu erreichen, werden z.B. *Drosselklappen* oder *variable Einlassventilsteuerungen* vor dem Einlass zum Verbrennungsraum eingebaut.

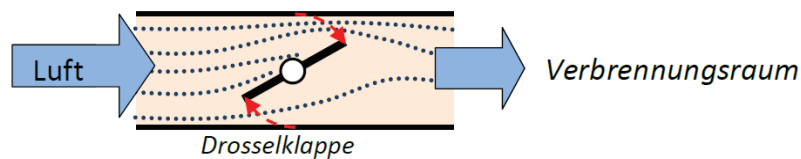


Abb.51: Drosselklappe

Hinter dieser *Drosselklappe* kann es aber zu Reibungsverlusten kommen. Um diesen entgegen zu wirken verwendet man die *variable Einlassventilsteuerung*. Je nach *Lambda-Wert* wird das Einlassventil weniger oder mehr geöffnet. Es entsteht aber auch hier eine bestimmte Turbulenz. Diese wirkt sich jedoch nicht negativ in Verlusten aus. Stattdessen wirkt sie sich positiv in Leistung aus. Im Verbrennungsraum ist nämlich eine hohe Turbulenz in punkto Zerstäubung und Mischung des Kraftstoffgemisches gewollt.

*Dieselmotor* →  $\lambda > 1$  Real:  $1,3 < \lambda < 2,2$

*Ottomotor* →  $\lambda \approx 1$  Real:  $0,8 < \lambda < 1,1$

Für die Verbrennung von *1kg* Kraftstoff werden circa *12m³* Luft (Sauerstoff) benötigt. Das entspricht circa *14,8kg* Luft.

Im *Dieselmotor* arbeitet der Kraftstoff mit mehr Luft als im *Ottomotor*. Es herrscht ein Luftüberschuss, daher herrschen im *Dieselmotor* auch geringere Temperaturen. Dieser Luftüberschuss ist bei Selbstzündern eine Voraussetzung und liegt deswegen um *30 bis 40%* über dem des *Ottomotors*.<sup>49</sup>

## 13.2 Verbrennungsverhältnis

$$\lambda_v = \frac{m_{LZ}}{m_{L_{\min}} \cdot m_{Kr.Z}}$$

Das *Verbrennungsverhältnis* setzt sich aus dem Verhältnis, der sich im Zylinder befindlichen Luftmenge zu der für die Verbrennung der Kraftstoffmenge notwendigen Mindestluftmenge zusammen.

Die Kraftstoffenergie wird auch als *Heizwert* bezeichnet.

Da bei der Verbrennung zu Wasserdampf, aufgrund des im Kraftstoff und in der Luft befindlichen Sauerstoffs Verluste entstehen, ist der *obere Heizwert* (*spezifische Brennwert*) nicht nutzbar.

*1kg Kraftstoff* →  $H_U$  (*spezifischer Heizwert – effektiv nutzbar*)

<sup>49</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.258 ff

## 14 Vergleich Ottomotor – Dieselmotor

Heutzutage wird bei den in der Kraftfahrzeugindustrie eingesetzten Verbrennungsmotoren sowohl der *Ottoprozess* als auch der *Dieselprozess* genutzt. Dies war jedoch nicht immer so. In der Vergangenheit wurden beispielsweise Dieselmotoren vorwiegend für große Kraftfahrzeuge und auch Schiffe verwendet. Bis auf einige Ausnahmen war die Gesamtanzahl der Personenkraftwagen mit Ottomotoren ausgestattet. In den vergangenen Jahren hat sich das nun aber weitestgehend geändert und es kommen immer mehr Dieselmotoren im Bereich des Personenkraftwagensektors zum Einsatz. Vor allem die stetig weitergehenden Entwicklungen im Bereich der *Dieseldirekteinspritzung* und der *Common-Rail-Technik* machen den Dieselmotor immer mehr konkurrenzfähiger. Dies hat auch dazu geführt, dass der Dieselmotor nun bereits einen hohen Marktanteil im PKW Sektor genießt. In erster Linie hat dies mit dem hohen Wirkungsgrad und dem damit verbundenen geringen Kraftstoffverbrauch der neuen, modernen Dieselmotoren zu tun.

### 14.1 Der verwendete Kraftstoff

Bei *Ottomotoren* kommt als Kraftstoff *Benzin* zum Einsatz, welches zu den Leichtkraftstoffen gezählt wird. Benzin basiert auf gecracktem Benzol und wird aus Erdöl gewonnen. Die Siedekurve liegt zwischen  $40\text{ °C}$  und  $200\text{ °C}$  bei einem Außendruck von  $1\text{ bar}$ .

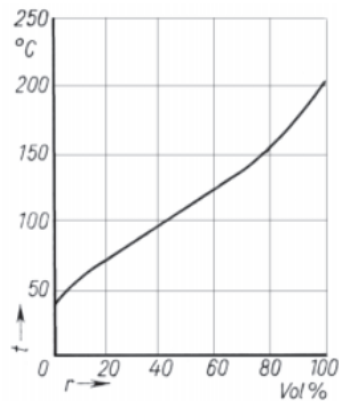


Abb.52: Siedekurve des Ottokraftstoffes

Da *Benzin* nur eine geringe kinematische Zähigkeit besitzt, kann dieser in einem Vergaser einfach zerstäubt werden. Generell kann bei Benzin zwischen *bleifreiem Normalbenzin (91 ROZ)*, *bleifreiem Superbenzin (95 ROZ)* und *bleifreiem Super Plus Benzin (98 ROZ)* unterschieden werden. Diese Unterscheidung bezieht sich auf die *Klopffestigkeit des Leichtkraftstoffes*. Die *Klopffestigkeit* im Allgemeinen ist das Maß für den Widerstand des Kraftstoffes gegenüber der unerwünschten Selbstzündung. So eine auftretende Selbstzündung hätte einen Motorschaden zur Folge hervorgerufen aufgrund kurzzeitiger Druckspitzen. Eine hohe Klopffestigkeit hat zeitgleich eine hohe Selbstentzündungstemperatur zur Folge. Das Maß hierfür ist die so genannte *Oktanzahl*. Die für die Klassifizierung der Kraftstoffe verwendete Einheit für den *Oktangehalt* wird *Research-Oktan-Zahl (ROZ)* genannt.

Früher, bis circa Mitte der neunziger Jahre wurde *verbleites Benzin* verwendet. Das Blei im Benzin diente einerseits zur Schmierung und andererseits zur Erhöhung der Klopffestigkeit. Heutzutage wird jedoch nur noch *bleifreier Kraftstoff* aus Gründen des Umweltschutzes und aufgrund der Tatsache, dass in der Katalysatortechnik bleihaltige Kraftstoffe nicht mehr einsetzbar sind, hergestellt. Das Problem mit der Klopffestigkeit konnte mit zusätzlichen Additiven im Benzin gelöst werden.

Bei *Dieselmotoren* kommt als Kraftstoff *Dieselöl* zum Einsatz, welches zu den schwer entflammaren Kohlenwasserstoffen zählt und mittels Destillation

von Erdöl erzeugt wird. Im Gegensatz zum Benzin liegt beim Diesel die Siedekurve zwischen  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $360\text{ }^{\circ}\text{C}$  bei einem Umgebungsdruck von  $1\text{ bar}$ .

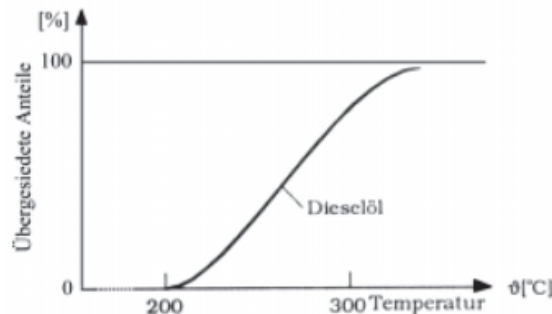


Abb.53: Siedekurve des Dieseldiesels

Der *Dieseldiesels* wird durch die so genannte *Cetanzahl* (CZ) klassifiziert. Die *Cetanzahl* gibt die Zündwilligkeit des Kraftstoffes an. Ermittelt wird diese Zündwilligkeit mit Hilfe eines geeichten Prüfmotors. Hierbei wird ein Vergleich einer bestimmten Mischung aus *Cetan* und  $\alpha$ -Methylnaphthalin angestellt. *Cetan* ist dabei der zündwillige Mischungsanteil und  $\alpha$ -Methylnaphthalin der zündträge Mischungsanteil. Deshalb kann festgehalten werden, dass mit zunehmender *Cetanzahl* die Zündwilligkeit des Dieseldiesels steigt. Nach DIN 51601 soll diese Cetanzahl mindestens CZ45 betragen.<sup>50</sup>

## 14.2 Vorteile des Ottomotors (Benzinmotors)

Zu den wesentlichen *Vorteilen des Ottomotors* zählt das *geringe Leistungsgewicht (kg/kW)*, das deutlich *schnellere Ansprechverhalten* vor allem der deutlich *größere nutzbare Drehzahlbereich*. In der Regel sind Benzinmotoren (Ottomotoren) billiger in der Anschaffung wodurch erst bei so genannten Vielfahrern der Vorteil des geringeren Verbrauchs beim Dieselmotor schlagend wird. Gründe für den niedrigeren Preis liegen in den

<sup>50</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Lexikon Motorentechnik – Der Verbrennungsmotor von A - Z, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004, S.258 ff

niedrigeren Baukosten, in der Entbehrlichkeit eines Turboladers und bei der Schalldämmung des Motorraums.

### 14.3 Vorteile des Dieselmotors

Zu den wesentlich *Vorteilen des Dieselmotors* zählt der *geringere Kraftstoffverbrauch* im Vergleich zum Benzinmotor. Durch die Entwicklung und Einführung des Direkteinspritzens wurde der Kraftstoffverbrauch noch einmal deutlich nach unten reduziert. Des Weiteren spricht für den Dieselmotor das *große, nutzbare Drehmoment* besonders im meist genutzten unteren Drehzahlbereich was zur Folge hat, dass man zum starken Beschleunigen nicht mehr unbedingt einen Gang zurück schalten muss. Durch den zusätzlich entwickelten Turbolader wirkt man mit deutlich mehr Kraft auch der gewissen Verzögerung am Beginn entgegen. Mittels neuer, moderner Automatikgetriebe (DSG – Direktschaltgetriebe) kann der Dieselmotor nun auch in einem konstanten Drehzahlbereich gehalten werden, wodurch wohl der gravierendste Nachteil gegenüber dem Benzinmotor vollständig behoben werden konnte. Es macht den Dieselmotor aufgrund dieser Maßnahme sogar überlegen da im Gegensatz zum Benzinmotor, wo in der Regel zwei Schaltvorgänge aufgrund des größeren Drehzahlbandes notwendig sind um vom unteren Drehzahlbereich zum oberen Drehzahlbereich zu gelangen. Beim Dieselmotor reicht aufgrund des schmalen Drehzahlbandes deshalb ein Gangwechsel aus um vom unteren in den oberen Drehzahlbereich zu gelangen.

### 14.4 Vergleichstabelle Ottomotor – Dieselmotor

Für eine bessere Veranschaulichung der *Vor- bzw. Nachteile* der beiden Verbrennungsmotoren wurden nun *der Ottoprozess* und *der Dieselporzess* direkt einander in einer Tabelle gegenübergestellt.



Kriterium	Ottomotor	Dieselmotor
Verdichtungs- verhältnis	6 - 12	12 - 24
Kraftstoff	Benzin	Diesel
Luftverhältnis	0,7 – 1,3	>1
Verdichtungs- druck	8 bar – 15 bar	25 bar – 65 bar
Verdichtungs- temperatur	300 °C – 600 °C	700 °C – 900 °C
Zündung	fremd	selbst
Verbrennung	Gleichraum- verbrennung	Gleichdruck- verbrennung
Gemischbildung	homogene Gemischbildung	inhomogene Gemischbildung
Verbrennungs- druck	30 bar – 45 bar	60 bar – 90 bar
Verbrennungs- temperatur	1500 °C – 2200 °C	1500 °C – 2200 °C
Regelung	Quantitätsregelung Qualitätsregelung	Qualitätsregelung mittels Veränderung der Dieselmenge
Effektiver Wirkungsgrad	25% - 30%	30% - 45%
Thermischer Wirkungsgrad	bis 60%	bis 65%
Mechanischer Wirkungsgrad	70% - 90%	70% - 92%

Kriterium	Ottomotor	Dieselmotor
Kraftstoffverbrauch	aufgrund geringeren eff. Wirkungsgrads höher als beim Dieselmotor	niedriger als beim Benzinmotor aufgrund des höheren eff. Wirkungsgrads
Motorkonstruktion	leicht, aufgrund der niedrigen Drücke	Schwer, aufgrund hoher Drücke
Schadstoffemissionen	NO <sub>x</sub> , CO, HC stark reduziert durch Katalysator	Rußpartikelverringern durch Oxidationskatalysator NO <sub>x</sub> geringer, CO geringer, HC geringer
Geräuschemissionen	Geräuschniveau niedrig	Geräuschniveau allgemein hoch (durch Nageln)
Kosten	hoher Kraftstoffpreis, hoher Kraftstoffverbrauch, niedriger Anschaffungswert	niedriger Kraftstoffpreis, niedriger Kraftstoffverbrauch, hoher Anschaffungswert

Diese *direkte Gegenüberstellung* zeigt, dass beide Verbrennungsmotoren, sowohl der *Ottomotor (Benzinmotor)* als auch der *Dieselmotor* ihre speziellen Vor- und Nachteile aufweisen. Es zeigt auch, dass vor allem das gewünschte Einsatzgebiet bei der Entscheidung sich entweder einen Otto- oder einen Dieselmotor anzuschaffen eine tragende Rolle spielt. Wenn aber beispielsweise bei der Entscheidung ein hoher Wirkungsgrad und deshalb ein geringer Verbrauch im Vordergrund stehen ist auf jedem Fall der Dieselmotor zu bevorzugen.<sup>51</sup>

<sup>51</sup> Vgl. Boris Otto, Auslegung und Optimierung Zweitaktmotors, Steinfurt, 1999

## 14.5 Vergleichstabelle – Arbeitsweisen

Arbeitsweise	Ottomotor	Dieselmotor
1. Takt Ansaugen	Gemischmenge abhängig von der gewünschten Leistung	Luft unabhängig von der Motorleistung
2. Takt Verdichten	Gemisch: von 1 zu 7 auf 1 zu 10 <u>Druck im Motor:</u> 10 – 16 kg/cm <sup>2</sup> <u>Temp.:</u> 350 °C – 500 °C	Luft: von 1 zu 15 auf 1 zu 20 <u>Druck im Motor:</u> 30 – 55 kg/cm <sup>2</sup> <u>Temp.:</u> 560 °C – 700 °C
3. Takt Verbrennen	Verbrennungsbeginn mittels Zündkerze <u>Höchstdruck:</u> 30-40 <u>Temp.:</u> 2000 °C- 2500 °C	Verbrennungsbeginn mittels Selbstzündung <u>Höchstdruck:</u> 50-100 <u>Temp.:</u> 1400 °C- 2000 °C
4. Takt Auspuffen	<u>Abgastemp.:</u> Leerlauf: 800 °C Vollast: 700 °C- 1000 °C	<u>Abgastemp.:</u> Leerlauf: 250 °C Vollast: 500 °C-600 °C
Verlust der Kraftstoffenergie	36%	29%

Wenn man den *Ottomotor* mit dem *Dieselmotor* direkt in ihrer Arbeitsweise vergleicht ist bemerkenswert, wie *relativ gering der Betriebsdruck bei Ottomotoren* ist. Der Grund dafür liegt darin, dass bei höherem Druck eine unkontrollierte *Selbstzündung* einsetzt.<sup>52</sup> Dies wird auch als Klopfen bezeichnet. Genau auf diesem Prinzip beruht die Funktion des Dieselmotors.

<sup>52</sup> Vgl. Richard van Basshuysen / Fred Schäfer: Handbuch Verbrennungsmotor - Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven, 5. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2010, S.10 ff

Dieser nutzt genau wiederum diesen Klopfefekt mittels höherer Verdichtungsdrücke als kontrollierte Zündungsquelle aus.<sup>53</sup>

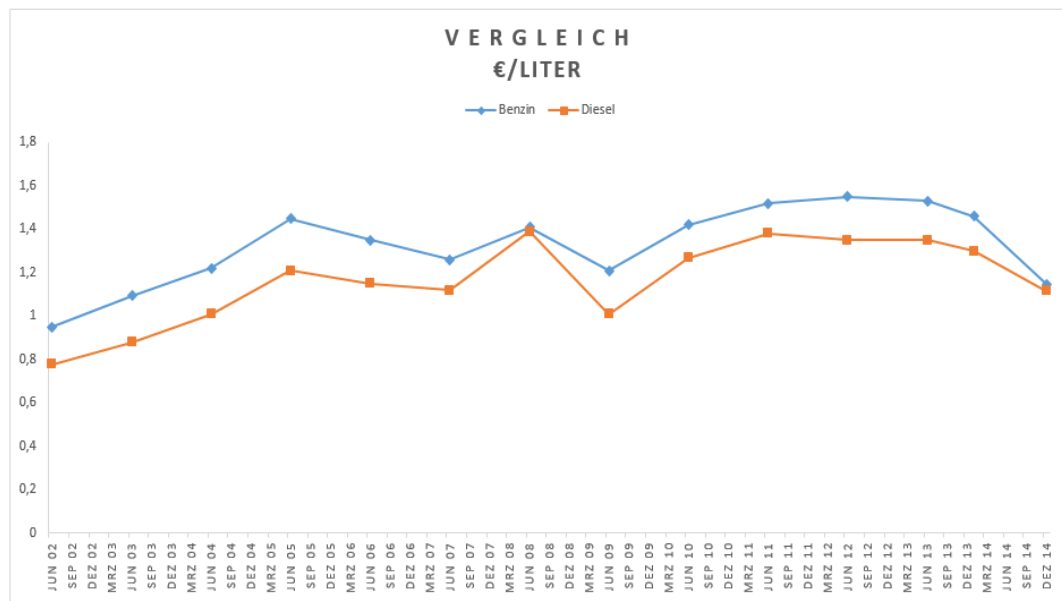
## 14.6 Vergleichstabelle Benzinpreis – Dieselpreis

Ein großes Augenmerk bei der Entscheidung *Benziner oder Diesel* war immer auch der *Kraftstoffpreis*. War es in der Vergangenheit immer so, dass der Dieselpreis unter dem Benzinpreis lag (*durchschnittlich circa 0,20 Cent je Liter*) so kann man aus aktuellem Anlass nicht mehr davon sprechen.

In der folgenden Tabelle soll nun der *Verlauf des Benzin- und Dieselpreises je Liter* der letzten *10 Jahre* dargestellt werden. Gleichzeitig soll auch ein direkter Vergleich dieser beiden Kraftstoffarten veranschaulicht werden.

<b>Zeitraum</b>	<b>Benzin</b>	<b>Diesel</b>	<b><math>\Delta</math></b>
Jun 02	0,950	0,777	0,173
Jun 03	1,093	0,880	0,213
Jun 04	1,219	1,009	0,210
Jun 05	1,449	1,209	0,240
Jun 06	1,349	1,149	0,200
Jun 07	1,259	1,119	0,140
Jun 08	1,409	1,389	0,020
Jun 09	1,209	1,009	0,200
Jun 10	1,419	1,269	0,150
Jun 11	1,519	1,379	0,140
Jun 12	1,549	1,349	0,200
Jun 13	1,529	1,349	0,180
Jan 14	1,459	1,299	0,160
14.12.2014	1,148	1,116	0,032

<sup>53</sup> Vgl. B. Kieker, Arbeit im Weiterbildenden Studiengang Umweltchemie (WSU), 1992

Abb.54: Preisverlauf Benzin und Diesel<sup>54</sup>

Wie man aus dem Verlauf der beiden Kraftstoffkurven eindeutig erkennen kann, lag der Dieselpreis durchschnittlich circa *0,22 Cent je Liter* unter dem Benzinpreis. Einziger Ausreißer in den vergangenen *10 Jahren* war der Zeitraum *Juni 2008*, in dem der Benzin- und Dieselpreis annähernd auf Augenhöhe waren. Danach stieg der Abstand der beiden Kraftstoffe wieder stetig auf das Niveau von *0,2 Cent je Liter*. Dieser Unterschied veränderte sich auch bis zum Ende des Jahres 2013 kaum. Erst ab Beginn diesen Jahres wurde schwand die Differenz immer mehr und mehr. Am *14.12.2014* waren der Diesel- und der Benzinpreis dann schließlich und endlich fast ident. Der *Benzinpreis* belief sich auf *1,124 Euro je Liter* und der *Dieselpreis* lag bei *1,112 Euro je Liter*.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass sich die Kraftstoffpreisthematik momentan nicht mehr so wie es noch vor einigen Jahren der Fall war schwerwiegend auf die Entscheidung *Benziner oder Diesel* auswirkt.

<sup>54</sup> Vgl. <http://www.doppelhorn.de/spirt> - Kraftstoffpreisentwicklung 2002 bis 2014

## 15 Wartung / Wartungskosten

Jeder Fahrzeughersteller definiert für seine Fahrzeuge sogenannte *Serviceintervalle* um einerseits die *Verkehrssicherheit* zu garantieren und andererseits den *Zustand von Verschleißteilen* regelmäßig zu kontrollieren und gegebenenfalls diese zu erneuern.

Diese *Wartungsintervalle* sind in *kleine und große Inspektionen* unterteilt. Ebenfalls werden diese Intervalle auch in eine bestimmte Anzahl von gefahrenen Kilometern gegliedert. Am häufigsten kommen Abstände von *15.000 und 30.000 Kilometern* zur Anwendung.<sup>55</sup>

In den folgenden beiden Beispielen werden jeweils ein *Dieselfahrzeug* und ein *Benzinfahrzeug* miteinander verglichen.

Im Vergleichsbeispiel werden der *BMW320i (Benziner) mit 184PS* und der *BMW320d (Diesel) mit ebenfalls 184PS* miteinander verglichen.

---

<sup>55</sup> Vgl. BMW Gady Fehring - Servicekosten

## 15.1 Vergleich BMW – Diesel vs. Benziner

Fahrzeug: BMW320i (135kW – 184PS)

**Benziner**

	Service:
15.000 km Große Inspektion	Motoröl und Ölfilter wechseln Zündkerze erneuern. Kraftstoffleitungen kontrollieren Auspuffanlage kontrollieren Kühlmittelschläuche kontrollieren, Kühlmittel prüfen/ wechseln
30.000 km Kleine Inspektion	Ansauggeräuschkämpfer, Luftfiltereinsatz erneuern
45.000 km Große Inspektion	Motoröl und Ölfilter wechseln Zündkerze erneuern. Kraftstoffleitungen kontrollieren Auspuffanlage kontrollieren Kühlmittelschläuche kontrollieren, Kühlmittel prüfen/ wechseln
60.000 km Kleine Inspektion	Ansauggeräuschkämpfer, Luftfiltereinsatz erneuern
75.000 km Große Inspektion	Motoröl und Ölfilter wechseln Zündkerze erneuern. Kraftstoffleitungen kontrollieren Auspuffanlage kontrollieren Kühlmittelschläuche kontrollieren, Kühlmittel prüfen/ wechseln
90.000 km Kleine Inspektion	Ansauggeräuschkämpfer, Luftfiltereinsatz erneuern
105.000 km Große Inspektion	Motoröl und Ölfilter wechseln Zündkerze erneuern. Kraftstoffleitungen kontrollieren Auspuffanlage kontrollieren Kühlmittelschläuche kontrollieren, Kühlmittel prüfen/ wechseln
120.000 km Kleine Inspektion	Ansauggeräuschkämpfer, Luftfiltereinsatz erneuern
135.000 km Große Inspektion	Motoröl und Ölfilter wechseln Zündkerze erneuern. Kraftstoffleitungen kontrollieren Auspuffanlage kontrollieren Kühlmittelschläuche kontrollieren, Kühlmittel prüfen/ wechseln
150.000 km Kleine Inspektion	Ansauggeräuschkämpfer, Luftfiltereinsatz erneuern

*Kosten für die kleine Inspektion: € 325,00*

*Kosten für die große Inspektion: € 575,00<sup>56</sup>*

Betrachtet man die anfallenden *Service- bzw. Wartungskosten für den Benzin*er so belaufen sich die Kosten für die Gesamtkilometerleistung von 150.000km auf € 4.500,00.

---

<sup>56</sup> Vgl. BMW Gady Fehring - Servicekosten



**Fahrzeug: BMW320d (135kW – 184PS)****Diesel**

	Service:
15.000 km Große Inspektion	Motoröl und Ölfilter wechseln Wasserabscheider entleeren Kraftstoffleitungen kontrollieren Auspuffanlage kontrollieren Kühlmittelschläuche kontrollieren, Kühlmittel wechseln
30.000 km Kleine Inspektion	Ansauggeräuschkämpfer, Luftfiltereinsatz erneuern Kraftstoffhauptfilter erneuern
45.000 km Große Inspektion	Motoröl und Ölfilter wechseln Wasserabscheider entleeren Kraftstoffleitungen kontrollieren Auspuffanlage kontrollieren Kühlmittelschläuche kontrollieren, Kühlmittel wechseln
60.000 km Kleine Inspektion	Ansauggeräuschkämpfer, Luftfiltereinsatz erneuern Kraftstoffhauptfilter erneuern
75.000 km Große Inspektion	Motoröl und Ölfilter wechseln Wasserabscheider entleeren Kraftstoffleitungen kontrollieren Auspuffanlage kontrollieren Kühlmittelschläuche kontrollieren, Kühlmittel wechseln
90.000 km Kleine Inspektion	Ansauggeräuschkämpfer, Luftfiltereinsatz erneuern Kraftstoffhauptfilter erneuern
105.000 km Große Inspektion	Motoröl und Ölfilter wechseln Wasserabscheider entleeren Kraftstoffleitungen kontrollieren Auspuffanlage kontrollieren Kühlmittelschläuche kontrollieren, Kühlmittel wechseln
120.000 km Kleine Inspektion	Ansauggeräuschkämpfer, Luftfiltereinsatz erneuern Kraftstoffhauptfilter erneuern
135.000 km Große Inspektion	Motoröl und Ölfilter wechseln Wasserabscheider entleeren Kraftstoffleitungen kontrollieren Auspuffanlage kontrollieren Kühlmittelschläuche kontrollieren, Kühlmittel wechseln
150.000 km Kleine Inspektion	Ansauggeräuschkämpfer, Luftfiltereinsatz erneuern Kraftstoffhauptfilter erneuern

*Kosten für die kleine Inspektion: € 355,00*

*Kosten für die große Inspektion: € 685,00<sup>57</sup>*

Betrachtet man nun die anfallenden *Service- bzw. Wartungskosten für den Diesel* so belaufen sich die Kosten für die Gesamtkilometerleistung von 150.000km auf € 5.200,00.

---

<sup>57</sup> Vgl. BMW Gady Fehring - Servicekosten

## 16 Betriebskosten / laufende Kosten

Wenn man sich die *Betriebskosten* der beiden Motorenarten, Benzin- und Dieselmotor genauer ansieht wird man relativ schnell bemerken, dass zwischen den beiden Motorentypen keine allzu großen Unterschiede liegen.

In folgenden Beispiel werden zwei Fahrzeuge mit gleich starker Motorisierung miteinander verglichen. Für den *Benzinmotor* wird das Fahrzeug *BMW320i mit 135 kW (184 PS)* bei 5000 Umdrehungen pro Minute und für den *Dieselmotor* das Fahrzeug *BMW320d mit 135 kW (184 PS)* bei 4000 Umdrehungen pro Minute für den Vergleich herangezogen.

Für die Berechnung wurde ein jährlicher Wertverlust jedes Fahrzeugs von 18% angenommen. Des Weiteren wurden als Kraftstoffpreise für *Diesel 1,15 Euro / Liter* und für *Benzin 1,35 Euro / Liter* angenommen. Als weitere wichtige Berechnungsgrundlagen wurden der jeweilige *Anschaffungswert (Kaufpreis)* und die *durchschnittliche Jahresfahrleistung* von 15.000 km pro Jahr für beide Fahrzeuge definiert.

Die jährlich entstehenden *Wartungskosten* wurden für jedes der beiden Fahrzeuge mit 3% des *Anschaffungswertes (Kaufpreises)* beziffert. Dieser Wert gilt als relativ genauer Anhaltswert, wenn das Fahrzeug in einer Vertragswerkstätte gewartet bzw. inspiziert wird.<sup>58</sup>

*Nicht berücksichtigt* wurden die jeweiligen *Versicherungskosten* der beiden Vergleichsfahrzeuge, da sie bei diesem Vergleichsbeispiel keine wesentliche Relevanz darstellen. Ebenfalls die *Kraftfahrzeugsteuern* der beiden Fahrzeuge finden sich in diesem Beispiel nicht wieder, da sie aufgrund der aktuellen Regelung (kW bezogene Steuer) für die beiden Fahrzeuge gleich sind.

---

<sup>58</sup> Vgl. <http://www.autobild.de>

## 16.1 Ottomotor (Benzinmotor)

Fahrzeug: BMW320i



Abb.55: BMW320i (Baujahr 2013)

Der *BMW320i* besitzt einen serienmäßigen 2,0 Liter, 4-Zylinder Benzinmotor mit BMW Twin Turbo Technologie.

### Details zum Fahrzeug:

- Anschaffungswert (Kaufpreis) → 40.000 Euro
- Hubraum → 1.997 cm<sup>3</sup>
- Leistung → 135 kW (184 PS)
- Kraftstoffart → Benzin (95ROZ)
- Kraftstoffpreis / Liter → 1,131 Euro
- Kraftstoffverbrauch / 100 km → 6,1 Liter
- Jahresfahrleistung → 15.000 km
- Nutzungszeitraum → 5 Jahre
- Wertverlust → 7.200 Euro pro Jahr (18% pro Jahr)<sup>59</sup>

---

<sup>59</sup> Vgl. <http://www.bmw.de>

## 16.2 Dieselmotor

Fahrzeug: BMW320d



Abb.56: BMW320d (Baujahr 2013)

Der *BMW320d* besitzt einen serienmäßigen 2,0 Liter, 4-Zylinder Dieselmotor mit BMW Twin Power Technologie.

### Details zum Fahrzeug:

- Anschaffungswert (Kaufpreis) → 43.000 Euro
- Hubraum → 1.995 cm<sup>3</sup>
- Leistung → 135 kW (184 PS)
- Kraftstoffart → Diesel
- Kraftstoffpreis / Liter → 1,090 Euro
- Kraftstoffverbrauch / 100 km → 4,5 Liter
- Jahresfahrleistung → 15.000 km
- Nutzungszeitraum → 5 Jahre
- Wertverlust → 7.740 Euro / Jahr (18% pro Jahr)<sup>60</sup>

---

<sup>60</sup> Vgl. <http://www.bmw.de>

### 16.3 Berechnung der Kosten

	<b>Benziner</b>	<b>Diesel</b>
<b>Anschaffungswert (Kaufpreis)</b>	40.000,00 €	43.000,00 €
<b>Nutzungszeitraum</b>	10 Jahre	10 Jahre
<b>Gesamtfahrleistung / Jahr</b>	15.000 km	15.000 km
<b>Kraftstoffverbrauch / 100km</b>	6,1 Liter	4,5 Liter
<b>Kraftstoffpreis / Liter</b>	1,35 €	1,15 €
<b>Kraftstoffkosten / Jahr</b>	1235,25 €	776,25 €
<b>Wartungskosten / Jahr</b>	1200 €	1290 €
<b>Gesamtkosten / Jahr</b>	2435,25 €	2066,25 €
<b>Kosten / km</b>	0,16 €	0,13 €

	<b>Benziner</b>	<b>Diesel</b>
<b>Anschaffungswert (Kaufpreis)</b>	40.000,00 €	43.000,00 €
<b>Nutzungszeitraum</b>	10 Jahre	10 Jahre
<b>Gesamtfahrleistung / Jahr</b>	30.000 km	30.000 km
<b>Kraftstoffverbrauch / 100km</b>	6,1 Liter	4,5 Liter
<b>Kraftstoffpreis / Liter</b>	1,35 €	1,15 €
<b>Kraftstoffkosten / Jahr</b>	2470,50 €	1552,50 €
<b>Wartungskosten / Jahr</b>	1200 €	1290 €
<b>Gesamtkosten / Jahr</b>	3670,50 €	2842,50 €
<b>Kosten / km</b>	0,12 €	0,09 €

	<b>Benziner</b>	<b>Diesel</b>
<b>Anschaffungswert (Kaufpreis)</b>	40.000,00 €	43.000,00 €
<b>Nutzungszeitraum</b>	10 Jahre	10 Jahre
<b>Gesamtfahrleistung / Jahr</b>	50.000 km	50.000 km
<b>Kraftstoffverbrauch / 100km</b>	6,1 Liter	4,5 Liter
<b>Kraftstoffpreis / Liter</b>	1,35 €	1,15 €
<b>Kraftstoffkosten / Jahr</b>	4117,50 €	2587,50 €
<b>Wartungskosten / Jahr</b>	1200 €	1290 €
<b>Gesamtkosten / Jahr</b>	5317,50 €	3877,50 €
<b>Kosten / km</b>	0,10 €	0,07 €

### 16.3.1 Berechnungsgrundlagen

#### (1) Kraftstoffkosten im Nutzungszeitraum

$$\frac{\text{Gesamtfahrleistung}}{100} \cdot \text{Verbrauch} \cdot \text{Kraftstoffpreis / Liter}$$

#### (2) Wartungskosten im Nutzungszeitraum

$$\text{Anschaffungswert} \cdot 3\% \cdot \text{Nutzungsdauer}$$

#### (3) Wiederverkaufswert nach Nutzungszeitraum

$$\text{Anschaffungswert} - 18\% \text{ des Anschaffungswerts (jährlich)}$$

#### (4) Gesamtkosten im Nutzungszeitraum

$$\text{Kraftstoffkosten} + \text{Wartungskosten} + (\text{Anschaffungswert} - \text{Wiederverkaufswert})$$

#### (5) Kosten / km im Nutzungszeitraum:

$$\frac{\text{Gesamtkosten}}{\text{Gesamtfahrleistung}}$$

#### (6) Kosten / Monat im Nutzungszeitraum:

$$\frac{\text{Gesamtkosten}}{5 \text{ Jahre} \cdot 12 \text{ Monate}}$$

*Bei den errechneten Gesamtkosten und den errechneten Kosten je Kilometer wurde auf den jeweiligen Wiederverkaufswert der Fahrzeuge keine Rücksicht genommen, da sich diese bei beiden Fahrzeugen in Relation zu ihrem jeweiligen Anschaffungswert mehr oder weniger aufheben würden.*

## 16.4 Kostenvergleich Diesel – Benziner

### 16.4.1 Jahresfahrleistung 15.000km

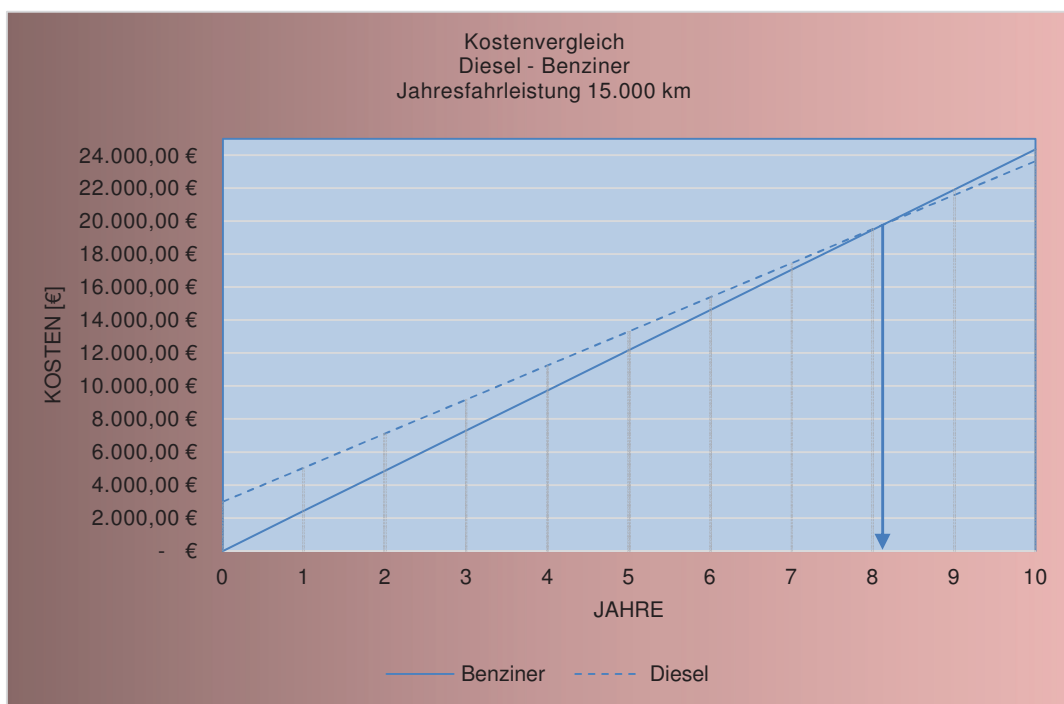


Abb.57: Kostenvergleich Jahresfahrleistung 15.000km

### 16.4.2 Jahresfahrleistung 30.000km

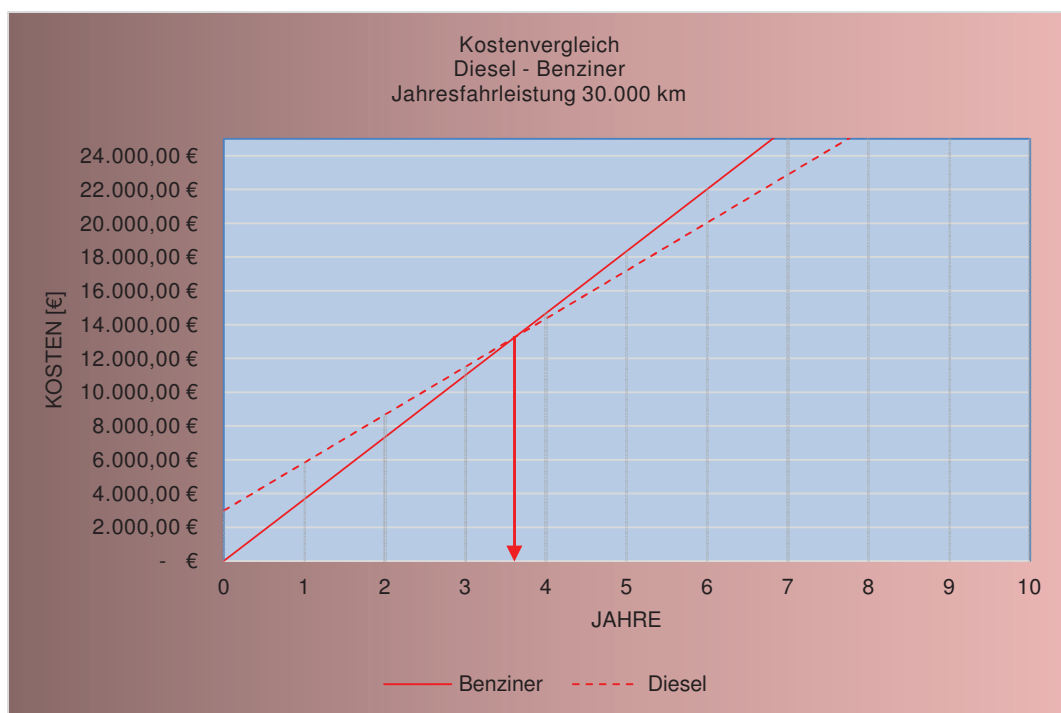


Abb.58: Kostenvergleich Jahresfahrleistung 30.000km



### 16.4.3 Jahresfahrleistung 50.000km

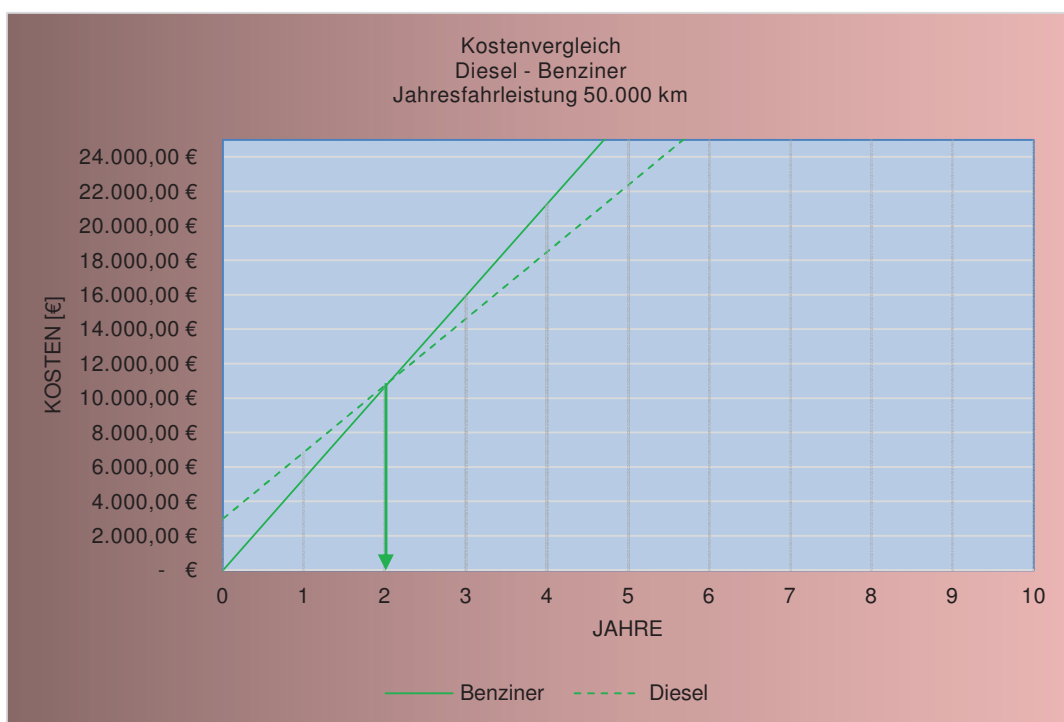


Abb.59: Kostenvergleich Jahresfahrleistung 50.000km

### 16.4.4 Gesamtübersicht Jahresfahrleistungen

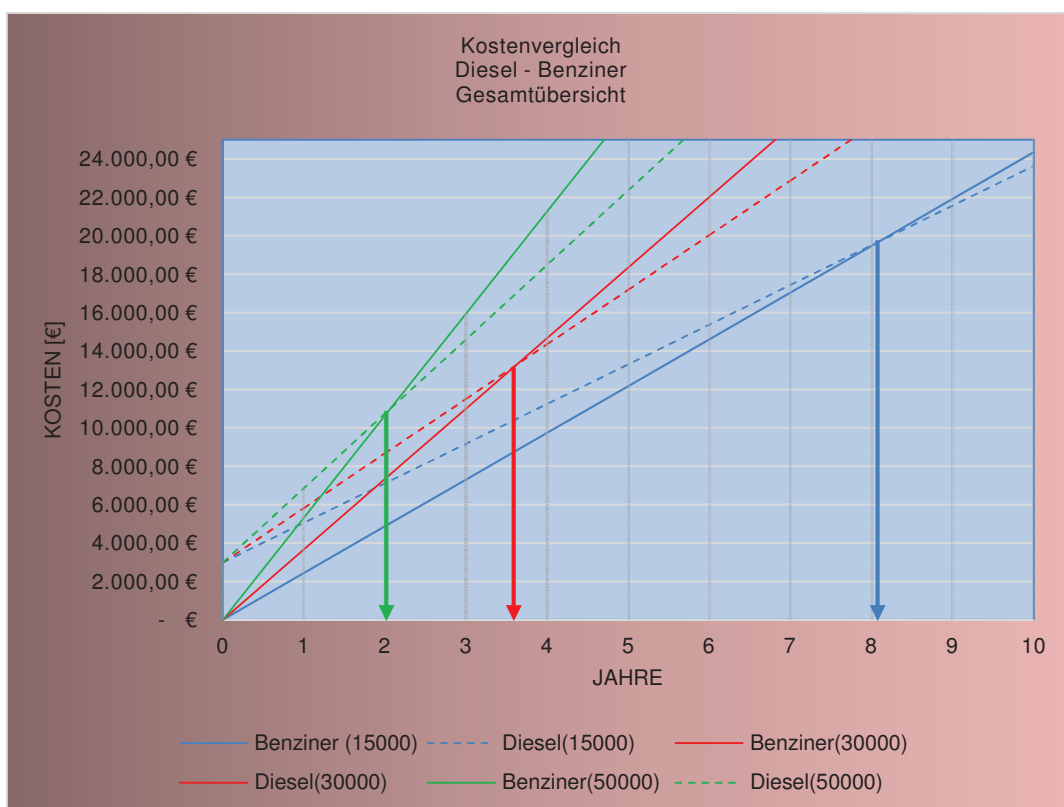


Abb.60: Kostenvergleich – Gesamtübersicht

Wenn man sich nun die Gesamtübersicht der beiden Fahrzeuge über die Jahresfahrleistungen von 15.000km, 30.000km und 50.000km ansieht, kann man sehr schnell erkennen, dass je höher die jährliche Fahrleistung ist, sich der Diesel umso schneller rechnet.

Bei einer Jahresfahrleistung von 15.000km ist dies nach 8 Jahren der Fall, bei einer Jahresfahrleistung von 30.000km ist dies nach ca. 3,5 Jahren der Fall und bei einer Jahresfahrleistung von 80.000km ist dies schon nach 2 Jahren der Fall.

In dieser Gesamtübersicht sind als fixe Kosten die Versicherung und die Kraftfahrzeugsteuer zu sehen. Als variable Kosten sind die Kraftstoff- und Servicekosten enthalten. Nicht berücksichtigt in dieser Betrachtung wurde der Wiederverkaufswert der beiden Fahrzeuge, da dieser in Hinsicht auf den jeweiligen Anschaffungswert in Relation zu vernachlässigen ist.

## 17 Die Nutzwertanalyse

### 17.1 Definition

Bei der *Nutzwertanalyse* wird ein Verfahren der *Alternativenbewertung* (möglichen Optionen) dargestellt. Bei dieser angeführten Bewertung ist es möglich, Alternativen welche nicht mittels Geldeinheiten dargestellt werden können nach bestimmten *Bewertungskriterien* zu messen.<sup>61</sup>

Die *Nutzwertanalyse* bietet eine *multiattributive Nutzenbetrachtung* bei der *technische, soziale* als auch *psychologische Bewertungskriterien* genauer betrachtet werden. In den Vordergrund wird dabei das betriebswirtschaftliche Zielsystem gestellt. Dieses Zielsystem wird dabei in einzelne Teilbereiche unterteilt. Dazu zählen die Beschaffung, die Produktion und der Absatz. Hierbei werden dem Zielsystem die zu bewertenden Produktalternativen gegenübergestellt. Diese wiederum weisen unterschiedliche Grade der Zielerreichung auf. Mittels eines *Punktebewertungssystems* werden die einzelnen Alternativen anschließend bewertet und die Additionsregel angewandt. Die Alternative mit dem höchsten Grad der Zielerreichung ist schlussendlich auszuwählen.

Die *Nutzwertanalyse* zeichnet sich dadurch aus, dass sie *leicht überprüfbar und nachvollziehbar* ist, wenn es sich um eine Entscheidungssituation mit großer Vielfalt und komplexen Alternativen handelt.

Die dadurch gefundene Lösung lässt sich leicht durch die *Sensitivitätsanalyse* kritisch beurteilen und durchleuchten. Die subjektive *Zielkriteriengewichtung* beeinflusst dabei das Ergebnis entscheidend.

Die *Nutzwertanalyse* stellt ein nicht monetäres Verfahren dar, welches subjektive Werte für die Entscheidungsfindung heranzieht.

---

<sup>61</sup> Vgl. Richard Vahrenkamp: Produktionsmanagement, 6. Auflage, Oldenbourg, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2008, S.45ff

Durch die Bestimmung und Gewichtung von so genannten *Zielkriterien* wird danach mittels der Multifaktorenrechnung eine mögliche Reihenfolge von Alternativen erstellt.<sup>62</sup>

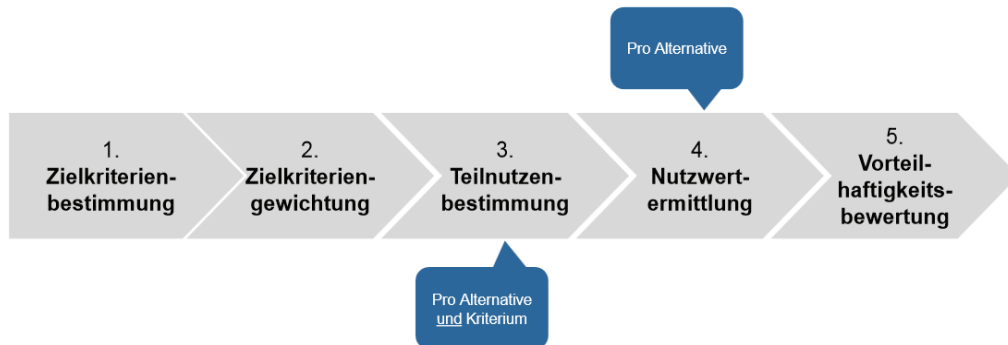


Abb.61: Ablauf der Nutzwertanalyse

Im Folgenden soll nun anhand eines allgemeinen Beispiels dargestellt werden, wie so eine *Nutzwertanalyse beim Kauf eines Neuwagens* helfen kann. Die Frage ist, welches Fahrzeug kristallisiert sich als Sieger heraus. Ein Fahrzeug mit *Benzin-* oder mit *Dieselmotor*. Dabei werden die Zielkriterien *monatliche Fixkosten*, *Fahrfreude* und *Image* ausschlaggebend sein.

## 1. Bestimmung der Zielkriterien

- monatliche Fixkosten (Z1)
- Fahrfreude (Z2)
- Image (Z3)

<sup>62</sup> Vgl. Richard Vahrenkamp: Produktionsmanagement, 6. Auflage, Oldenbourg, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2008, S.45ff

## 2. Gewichtung der Zielkriterien

Zielkriterium	Gewichtung (Faktor)	Zielerreichungsklassen	Teilnutzen
Z1	0,7	500 Euro	1
		300 – 500 Euro	2
		300 Euro	3
Z2	0,2	Klein	1
		Mittel	2
		Groß	3
Z3	0,1	Schlecht	1
		Durchschnitt	2
		Gut	3

## 3. Bestimmung der Teilnutzen

Zielkriterium	Benziner	Diesel
Z1 (70%)	3	2
Z2 (20%)	1	3
Z3 (10%)	2	2

## 4. Ermittlung des Nutzwertes

Zielkriterium	Benziner	Diesel
Z1 (70%)	2,1	1,4
Z2 (20%)	0,2	0,6
Z3 (10%)	0,2	0,2

## 5. Bewertung der Vorteilhaftigkeit

	Benziner	Diesel
Summe $\Sigma$	2,5	2,2
Reihenfolge	<b>1.</b>	<b>2.</b>

In diesem Beispiel geht aufgrund der vorgenommenen Bewertung und Gewichtung der definierten Zielkriterien der *Benziner als Sieger* hervor.

## 18 Schluss

### 18.1 Ergebnis / Zusammenfassung

Moderne Dieselmotoren sind sparsam, leise und sehr leistungsstark. Im Alltagsverhalten sind sie aufgrund ihrer Drehmoment-Charakteristik jedoch einem gleich starkem Benzinmotor oft überlegen, auf jeden Fall aber ebenbürtig. Bezugnehmend auf den Verbrauch je Kilometer geht der Dieselmotor aber ganz klar als Sieger hervor.

Der Trend zu Dieselfahrfahrzeugen ist noch immer ungebrochen. Man sieht jedoch immer häufiger, dass in bestimmten Fällen ein gleich starker Benziner unter Umständen auch kostengünstiger sein kann.

Ottomotor (Benzinmotor) und Dieselmotor gleichen sich in punkto Kosten immer mehr an. Ausschlaggebend in erster Linie bei der Entscheidung ob Diesel oder Benziner ist die Jahreskilometerleistung.

Auch wenn man sich die aktuellen Vergleichszahlen beispielsweise in Deutschland und Österreich zwischen PKW mit Ottomotor (Benzinmotor) und PKW mit Dieselmotor der vergangenen Jahre ansieht ist eindeutig zu sehen, dass diese fast gleich verteilt sind.

In punkto Anschaffungs- (Kauf-)preis sind PKW mit Dieselmotor in der Regel deutlich teurer als vergleichsweise PKW mit Benzinmotor. Sieht man sich jedoch den Kraftstoffverbrauch je 100 Kilometer genauer an, fällt zum Teil deutlich auf, dass hier der Dieselmotor weitaus weniger verbraucht als ein Ottomotor (Benzinmotor).

Annähernd die Waage halten sich Benzin- und Dieselmotor mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen, auch wenn man sich den Umweltaspekt genauer ansieht liegen hier beide mittlerweile gleich auf.

Mittels Partikelfilter konnte beim Dieselmotor der Partikelaußstoß auf fast Null reduziert werden und ebenfalls der Anteil an Stickoxiden konnte mit Hilfe von Katalysatoren und mit speziellem Motormanagement fast halbiert werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass das größte Einsparungspotential auf jeden Fall der Verbrauch je Kilometer darstellt und dass die gefahrenen Kilometer pro Jahr das größte Potential aufweisen. Je mehr Kilometer in einem Jahr gefahren werden desto schneller rechnet sich bzw. desto besser ist ein PKW mit Dieselmotor. Weitere variable Einsparungspotentiale wie beispielsweise Wartungs- und Anschaffungskosten heben sich aus Gründen der Wiederverkaufswerte annähernd auf.

## 18.2 Ausblick

Auch zukünftig werden sich meiner Meinung nach *PKW mit Ottomotor* und *PKW mit Dieselmotor* die Waage halten.

Die Entwicklungen beider Motortypen werden stetig weitergehen und es wird sich auch zukünftig nicht eindeutig herausstellen, welcher der beiden Motoren der günstigere ist. Die Entscheidung ob man sich einen PKW mit Ottomotor (Benzinmotor) oder einen PKW mit Dieselmotor anschafft, wird auch in den kommenden Jahren nicht so einfach zu treffen sein.

Auf jedem Fall, werden sich aber für Vielfahrer (gefahrenen Kilometer pro Jahr) PKW mit Dieselmotor eher rechnen als PKW mit Ottomotor. Dies wurde ja auch mit der durchgeführten Betriebskostenberechnung eindeutig bewiesen.

Des Weiteren werden zukünftig auch immer mehr sogenannte Hybridmotoren zum Einsatz kommen. Diese Hybridmotoren zeichnen sich im Wesentlichen durch die Kombination von E-Motor mit Verbrennungsmotor aus. In den meisten Fällen kommt hier dann als Verbrennungsmotor der Benzinmotor aufgrund der geringeren Kosten zum Einsatz. Aktuell sind diese Hybridmotoren jedoch aufgrund ihres relativ hohen Anschaffungswertes noch eher selten auf den Straßen zu finden. Auch PKW mit reinem E-Motor sind aktuell nur sehr selten zu sehen.

Meiner Meinung nach werden sich diese Fahrzeuge erst dann richtig durchsetzen können, wenn diese billiger in der Anschaffung und die Reichweiten deutlich erhöht, durch einen größeren Speicher der Batterien, werden. Die aktuellen Reichweiten bei PKW mit reinem E-Motor belaufen sich laut einer Information von BMW Austria nur auf bis zu *250 Kilometer*.



---

## Literaturverzeichnis

<http://www.meine-auto.info/historien/geschichte-des-motors.html>

**Richard van Basshysen / Fred Schäfer (2012)**

Handbuch Verbrennungsmotoren – Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven, 7. Auflage, Bad Wimpfen / Hamm, Springer Vieweg, 2012

**Braess / Seiffert (2000)**

Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Grünwald / Braunschweig, Vieweg Verlag, 2000

**Mollenhauer, K. (1997)**

Handbuch Dieselmotoren, 1997

**Betz, A. (1984)**

Druckverlaufsanalyse für direkteinspritzende Dieselmotoren, T. H. München, 1984

<http://www.motoren-technik.net/ottomotor>

<http://Grundlagen des E-Business>

[http://www.helpster.de/4-takt-ottomotor-informatives\\_180687#anleitung](http://www.helpster.de/4-takt-ottomotor-informatives_180687#anleitung)

[http://www.ape-erlebnisse.de/pdf\\_dateien/verschiedenes/verschiedenes\\_geschichte\\_motoren.pdf](http://www.ape-erlebnisse.de/pdf_dateien/verschiedenes/verschiedenes_geschichte_motoren.pdf)

[http://www.techni-chemie.uni-leipzig.de/schueler/version1/start\\_v1/start\\_v1.htm](http://www.techni-chemie.uni-leipzig.de/schueler/version1/start_v1/start_v1.htm)

<http://www.e-hausaufgaben.de/Referate/D4055-Referat-Chemie-Der-Benzinmotor-Aufbau-Funktion-Wirkung.php>

**<http://www.e-hausaufgaben.de/Referate/D4692-Die-Mechanik-Referat-Der-Motor.php>**

**<http://motoren-technik.net/ottomotor/>**

**Konrad Reif (2012)**

Dieselmotor-Management-Systeme, Komponenten, Steuerung und Regelung, 5. Auflage, Ravensburg, Springer Vieweg, 2012

**Robert Bosch GmbH (2004)**

Dieselmotor-Management, Systeme und Komponenten, 4. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Sohn Verlag, 2004

**[http://www.helpster.de/aufbau-vom-dieselmotor-einfach-erklart\\_107855](http://www.helpster.de/aufbau-vom-dieselmotor-einfach-erklart_107855)**

**Boris Otto (1999)**

Auslegung und Optimierung des Zweitaktmotors, Steinfurt, 1999

**B. Kieker (1992)**

Arbeit im Weiterbildenden Studiengang Umweltchemie (WSU), 1992

**<http://www.doppelhorn.de/sprit - Kraftstoffentwicklung 2002 bis 2014>**

**<http://www.bmw.de>**

**Richard Vahrenkamp (2008)**

Produktionsmanagement, 6. Auflage, Oldenbourg, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2008

**BMW Gady Fehring**

**Günter P. Merker / Christian Schwarz (2009)**

Grundlagen Verbrennungsmotoren – Simulation der Gemischbildung, Verbrennung, Schadstoffbildung und Aufladung, 4. Auflage, Wiesbaden, Vieweg & Teubner, 2009

**Klaus Mollenhauer / Helmut Tschöke (2007)**

Handbuch Dieselmotoren, 3. Auflage, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2007

# **Selbstständigkeitserklärung**

Ing. Harald Gaulhofer

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Edelsbach, den 07. Jänner 2015

Harald Gaulhofer